

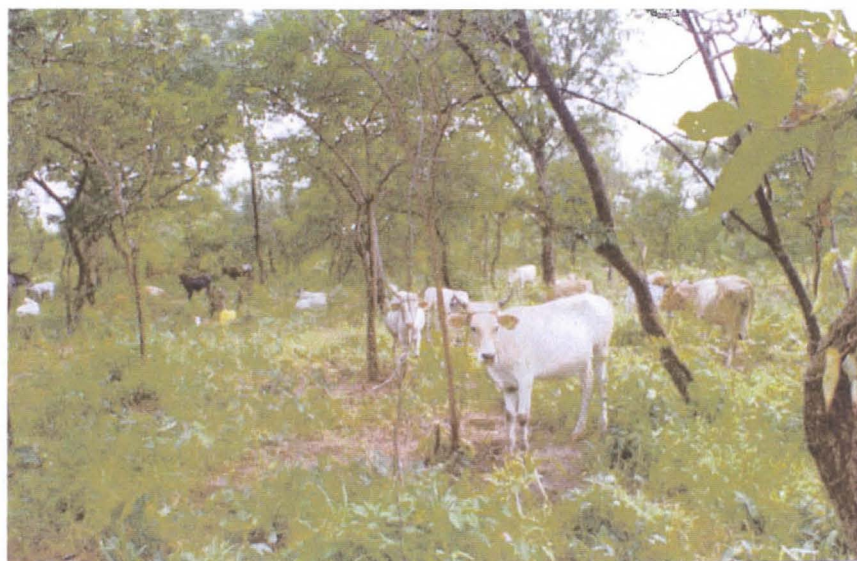
**INSTITUT SENEGALAIS  
EN RECHERCHE AGRONOMIQUE  
PROJET ABT  
(Alimentation du Bétail Tropical)  
BP 2057  
DAKAR-HANN  
SENEGAL**

**CENTRE DE COOPERATION  
INTERNATIONALE EN RECHERCHE  
AGRONOMIQUE POUR LE  
DEVELOPPEMENT  
Département d'Elevage  
et de Médecine Vétérinaire  
MONTPELLIER**

**Rapport de mission au Sénégal. Appui statistique  
pour la valorisation des données du programme de  
recherche ABT (Alimentation du Bétail Tropical)**

**du 15 novembre au 26 novembre 1999**

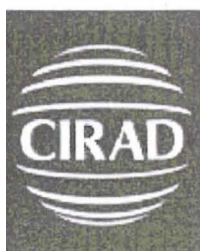
**Par Samir MESSAD**



*Programme ABT*

**Rapport CIRAD-EMVT N°2000-07**

**Février 2000**



**CIRAD-EMVT**  
Département d'Elevage  
et de Médecine Vétérinaire  
TA 30/ A  
Campus de Baillarguet  
34398 Montpellier - Cedex 5  
FRANCE

Rapport de mission au Sénégal. Appui statistique  
pour la valorisation des données du programme de  
recherche ABT (Alimentation du Bétail Tropical)

du 15 novembre au 26 novembre 1999

Par Samir MESSAD



*Programme ABT*

Rapport CIRAD-EMVT N°2000-07

Février 2000



**CIRAD-EMVT**

Département d'Elevage  
et de Médecine Vétérinaire

TA 30/ A

Campus de Baillarguet

34398 Montpellier - Cedex 5

FRANCE

© **CIRAD-EMVT 2000**

Tous droits de traduction, de reproduction par tous procédés, de diffusion  
et de cession réservés pour tous pays.

---



**AUTEUR(S) :** Samir MESSAD

**ACCES AU DOCUMENT :**  
au service de documentation du  
CIRAD-EMVT

**ORGANISME AUTEUR :** CIRAD-EMVT

**ACCES A LA REFERENCE DU DOCUMENT :**  
Libre

**ETUDE FINANCEE PAR :** CIRAD-EMVT

**REFERENCE :** OM n° 30 06 99 447

**AU PROFIT DE :** Programme de recherche ABT (Alimentation du Bétail Tropical), programme commun ISRA-CIRAD.

**TITRE :** Rapport de mission au Sénégal. Appui statistique pour la valorisation des données du programme de recherche ABT (Alimentation du Bétail Tropical). Rapport Cirad-Emvt N°2000-07.

**TYPE D'APPROCHE :** Mission d'appui.

**DATE ET LIEU DE PUBLICATION :** Février 2000, Montpellier (France).

**PAYS OU REGIONS CONCERNES :** Sénégal.

**MOTS CLES :** Analyse des données, ACPVI, Co-inertie, Alimentation des ruminants, Performances zootechniques.

## **RESUME :**

Cette mission avait pour but d'apporter un appui statistique au traitement d'une partie des données recueillies sur les parcours du bétail par le programme ABT (Alimentation du bétail tropical, programme commun ISRA-CIRAD). Le travail effectué portait plus particulièrement sur l'étude des facteurs de conduite de troupeau susceptibles d'influencer les performances des animaux.

Le travail d'analyse sur des données à l'échelle du troupeau tenait en 3 objectifs :

- Tenter d'expliquer la variabilité de la production laitière en fonction du type de végétation fréquenté par les troupeaux.
- Etudier les relations entre les types de végétation fréquentés et les paramètres alimentaires de composition botanique, de qualité azotée et énergétique des régimes alimentaires.
- Analyser les relations entre les mesures de performances zootechniques (production laitière journalière, qualité azotée et énergétique des régimes alimentaires) et des paramètres caractérisant les régimes au cours du circuit du point de vue qualitatif (composition botanique des régimes) et quantitatif (pression du troupeau sur le pâturage). Ceci afin d'évaluer l'intérêt du second jeu de paramètres comme indicateurs de performances.



# Sommaire

DÉROULEMENT DE LA MISSION.....	2
REMERCIEMENTS.....	3
INTRODUCTION .....	4
Contexte de l'étude .....	5
Présentation des données .....	5
Méthodes statistiques utilisées .....	6
1. ETUDE DE LA VARIABILITÉ DE LA PRODUCTION LAITIÈRE EN FONCTION DU TYPE DE VÉGÉTATION FRÉQUENTÉ PAR LES TROUPEAUX.....	8
1.1. Etude des facteurs de variation de la production laitière.....	8
1.2. Etude de la fréquentation des types de végétation par les troupeaux .....	11
1.3. Etude de la fréquentation des faciès selon les facteurs Année et Saison et mise en relation avec la production laitière.....	13
1.3.1. Projection des faciès sur le plan d'observation Saison + Année.....	13
1.3.2. Projection des faciès sur le plan d'observation orthogonal Saison + Année.....	15
1.3.3. ACPVI intra fin de saison sèche.....	16
2. RELATION ENTRE FACIÈS DE VÉGÉTATION ET PARAMÈTRES ALIMENTAIRES.....	19
2.1. Analyse des relations et des facteurs de variation des paramètres alimentaires.....	19
2.1.1. ACP normée des paramètres alimentaires.....	19
2.1.2. ACP intra-saison des paramètres alimentaires.....	21
2.2. Analyse des relations faciès fréquentés et paramètres alimentaires.....	22
2.2.1. Etude des compositions de faciès fréquentés après regroupement .....	22
2.2.2. Ordination sous contrainte.....	23
2.2.3. Analyse de co-inertie intra saison.....	26
3. RECHERCHE D'INDICATEURS DE PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES.....	31
3.1. Analyse du jeu complet de variables.....	31
3.2. Analyse inter-saison des redondances entre paramètres.....	33
3.3. Analyse intra-saison des redondances entre paramètres.....	34
3.4. Analyse de co-inertie intra-saison des deux jeux de paramètres.....	35
CONCLUSION.....	38
BIBLIOGRAPHIE.....	39

## Déroulement de la mission

15/11/99	Arrivée à Dakar (Sénégal).
16/11/99	Rencontre du directeur du LNRV, Dr Arona GUEYE.  Début du travail d'analyse des données sur les parcours du bétail.
20/11/99	Début de rédaction et de mise en forme des résultats.
24/11/99	Réunion de travail avec Alexandre Ickowicz, Arnaud Moisan (statisticien, CSN) et Renaud Lancelot (CIRAD-EMVT). Présentation des principaux résultats et des poursuites d'analyses à envisager.
25/11/99	Fin de la mission.

## **Remerciements**

Je tiens à remercier très vivement Alexandre Ickowicz, responsable du programme ABT, pour son accueil et les très bonnes conditions de travail réunies au cours de cette mission.



## Introduction

Cette mission avait pour but d'apporter un appui statistique au traitement d'une partie des données sur les parcours du bétail recueillies par le programme ABT (Alimentation du bétail tropical, programme commun ISRA-CIRAD). Programme de recherche dont un des volets est l'étude des régimes alimentaires des ruminants dans les grandes régions naturelles du Sénégal. Le travail effectué portait plus particulièrement sur l'étude des facteurs de conduite de troupeau susceptibles d'influencer les performances des animaux.

Le travail d'analyse sur des données à l'échelle du troupeau tenait en 3 objectifs :

- Tenter d'expliquer la variabilité de la production laitière en fonction du type de végétation fréquenté par les troupeaux.
- Etudier les relations entre les types de végétation fréquentés et les paramètres alimentaires de composition botanique, de qualité azotée et énergétique des régimes alimentaires.
- Analyser les relations entre les mesures de performances zootechniques (production laitière journalière, qualité azotée et énergétique des régimes alimentaires) et des paramètres caractérisant les régimes au cours du circuit du point de vue qualitatif (composition botanique des régimes) et quantitatif (pression du troupeau sur le pâturage). Ceci afin d'évaluer l'intérêt du second jeu de paramètres comme indicateur de performance.

L'ensemble des relations devait être étudié en tenant compte d'un certain nombre de facteurs comme la durée du parcours, la distance parcourue et en particulier la saison d'observation. Ce dernier facteur jouait un rôle très important dans la variabilité globale des comportements alimentaires et des performances zootechniques.

L'objet de ce rapport est de présenter un certain nombre de résultats qui serviront ultérieurement à une synthèse en vue du séminaire de restitution du projet ABT organisé à Dakar au mois d'octobre 2000. Nous avons insisté sur la démarche analytique en apportant des éléments de compréhension des méthodes statistiques utilisés et en décrivant l'ensemble des étapes des analyses que nous avons effectuées. Ceci afin de montrer l'intérêt des méthodes d'analyses multivariées de couplage de tableaux qui peuvent s'avérer pertinent pour le type de données traitées.

## Contexte de l'étude

Le programme conjoint de recherche ISRA-CIRAD Alimentation du Bétail Tropical (ABT) développe depuis 1980 des études et recherche de base et méthodologiques sur les aliments du bétail et les fourrages naturels ou cultivés disponible au Sénégal, ainsi que sur les systèmes d'alimentation sur parcours naturels. Après avoir abordé les zones sahélienne et soudanienne (systèmes pastoraux et agropastoraux), le programme était implanté en zone soudanienne dans la région de Kolda depuis 1988 sur des terroirs agrosylvopastoraux. Des études et des expérimentations en milieux villageois et contrôlé y ont été réalisées afin de mieux connaître les systèmes d'alimentation et les ressources fourragères de la zone, d'identifier les contraintes majeures de ces systèmes de production animale, d'évaluer le rôle de l'élevage dans la gestion des terroirs et des ressources naturelles. Le rôle important que joue l'élevage dans le maintien de la fertilité des terres cultivées à travers les transferts de fertilité sur ces terroirs et les contraintes d'utilisation de l'espace nous ont amené à nous intéresser aux parcours des troupeaux. Les contraintes d'utilisation des différents compartiments du terroir ont des répercussions à la fois sur les performances des troupeaux et sur les transferts de fertilité. L'optimisation de la gestion de ces ressources par des propositions d'aménagement de terroirs doit passer par une connaissance de l'utilisation de l'espace et des ressources que nous avons tenté de mieux connaître à travers l'étude des parcours des troupeaux.

## Présentation des données

L'étude sur le mode de conduite au pâturage et le comportement alimentaire des troupeaux de bovins a été menée pendant 3 années dans la région de Kolda en Haute Casamance. Elle concernait trois troupeaux de bovins (représentant un effectif de 313 têtes) dont le parcours journalier au pâturage a été suivi bimensuellement. A partir de la position spatiale du troupeau sur le terroir relevée toutes les cinq minutes (relevée à l'aide d'un G.P.S. – *Global Positioning System*) et d'une carte de la végétation, le suivi a permis de calculer en utilisant un Système d'Information Géographique (SIG) le temps passé par les troupeaux sur chaque type de végétation. Pour ce faire, une typologie de la végétation à partir de photographies aériennes a été construite. En ce qui concerne les types de végétation forestiers, une classification a été établie à partir de la hauteur et du recouvrement de la strate ligneuse dominante. Quant aux types de végétation liés au parcellaire agricole, ils ont été classés selon deux grands types : les cultures sur glais et les cultures de bas-fond (rizière) (Ickowicz *et al.*, 1998).

On dispose donc de relevés équivalant au temps passé sur chaque type de végétation par les troupeaux. De plus, un certain nombre d'informations ont été collectées concernant la composition botanique et la qualité des régimes alimentaires quotidiens de quelques animaux échantillonnés à l'échelle du troupeau. Le comportement alimentaire au cours du circuit et la performance de production laitière des troupeaux, ont également été enregistrés.

Les tableaux suivants font un récapitulatif des données disponibles. Toutes les données ont été agrégées à l'échelle du troupeau-circuit qui correspond à l'unité statistique utilisée.

- Utilisation du terroir par les animaux

### *Végétation de forêt*

Libellé	Dénomination
B1	strate ligneuse basse de forêt avec niveau de recouvrement < 20 %
B2	strate ligneuse basse de forêt avec niveau de recouvrement entre 20 et 40 %
B3	strate ligneuse basse de forêt avec niveau de recouvrement entre 40 et 70 %
B4	strate ligneuse basse de forêt avec niveau de recouvrement > 70 %
M1	strate ligneuse moyenne de forêt avec niveau de recouvrement < 20 %
M2	strate ligneuse moyenne de forêt avec niveau de recouvrement entre 20 et 40 %
M3	strate ligneuse moyenne de forêt avec niveau de recouvrement entre 40 et 70 %
M4	strate ligneuse moyenne de forêt avec niveau de recouvrement > 70 %
H1	strate ligneuse haute de forêt avec niveau de recouvrement < 20 %
H2	strate ligneuse haute de forêt avec niveau de recouvrement entre 20 et 40 %
H3	strate ligneuse haute de forêt avec niveau de recouvrement entre 40 et 70 %
H4	strate ligneuse haute de forêt avec niveau de recouvrement > 70 %
H	strate herbacée (sans arbres)
J	Jachères



### *Végétation de cultures*

Libellé	Dénomination
C	cultures et champs
CC	cultures de cases
RIZ	rizière

### *Autres types de végétation*

Libellé	Dénomination
MARE	Mares
AUTRE	autres types de végétation

- Composition botanique et qualité des régimes alimentaires

Libellé	Dénomination
GRAM	teneur du régime alimentaire en graminées (%)
LEG	teneur du régime alimentaire en légumineuses herbacées (%)
LIGN	teneur du régime alimentaire en ligneux (%)
RESID	teneur du régime alimentaire en résidus de cultures (%)
HERB	teneur du régime alimentaire en plantes herbacées diverses (%)
MAD	qualité azotée du régime alimentaire en % de la matière sèche ingérée
DMO	qualité énergétique du régime alimentaire : digestibilité de la matière organique ingérée en %

- Comportement alimentaire et performance zootechnique

Libellé	Dénomination
DIST	distance parcourue par le troupeau pendant le circuit
PCPAT	% moyen d'animaux pâturant pendant le circuit
SURF	surface moyenne occupée par le troupeau pendant le circuit
LAIT	production laitière moyenne quotidienne (milli-litres/jour/animal)

## Méthodes statistiques utilisées

Hormis l'étude spécifique des facteurs de variation (Année, Saison, Troupeau) sur la production laitière (partie 1.1), nous avons pour ce travail, fait le choix des méthodes factorielles de description et d'exploration des données. Ce pour plusieurs raisons qui tiennent à la fois à la nature des données (conditions numériques) et aux stratégies d'analyses (couplage de tableaux de données).

Les méthodes factorielles permettent des descriptions synthétiques efficaces et éventuellement de relier cette description à un ou à un groupe de critères exogènes (prise en compte et élimination d'effet) pour étudier les relations entre plusieurs paramètres (analyse à un tableau) et les relations entre plusieurs groupes de paramètres (couplage et méthodes *K-tableaux*). Les analyses en composantes principales sur variables instrumentales (ACPVI), l'analyse de co-inertie, la méthode STATIS sont des exemples de méthodes qui permettent de mettre en évidence des systèmes de relations entre deux ou même plusieurs jeux de paramètres.

De plus ces méthodes prennent véritablement en compte le caractère intrinsèquement multivarié des données analysées. Lorsque par exemple, et c'est notre cas, l'unité statistique correspond à une distribution de fréquences selon les différents descripteurs (profils de fréquentation des types de végétation). Ou alors lorsque les variables d'un tableau sont difficilement dissociables (les paramètres de comportements alimentaires par exemple), c'est à dire qu'elles ne se résument pas à un seul descripteur, on peut grâce aux méthodes multivariées conserver la notion de groupe ou de combinaison de descripteurs afin de tenter de le relier à un autre groupe de variables.

On connaît les difficultés de l'analyse des données d'enquête de suivi d'animaux et de troupeaux en milieu réel notamment en ce qui concerne la différenciation de la part de variabilité inhérente à plusieurs facteurs corrélés. Notre approche est avant tout descriptive et exploratoire : on veut décrire la fréquentation de différents types de végétation par les troupeaux en identifiant les sources de variation et de co-variation principales, nécessaire



avant de vouloir expliquer la variabilité des paramètres de performances et des comportements alimentaires à partir des fréquentations de faciès.

Nous ferons une brève description des méthodes employées au fur et à mesure de l'exposé. Méthodes qui ont été pour la plupart mis en œuvre à l'aide du logiciel d'analyses multivariées ADE-4<sup>1</sup> (Thioulouse *et al.*, 1997)

---

<sup>1</sup> Le logiciel ADE-4 ainsi qu'une documentation téléchargeable est disponible gratuitement à l'adresse : <http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4/ADE-4F.html>. On trouvera également sur ce site les dernières mises à jour et une forum de consultation : ADEList.

## 1. Etude de la variabilité de la production laitière en fonction du type de végétation fréquenté par les troupeaux.

Le premier objectif affiché était celui qui finalement résume assez bien toute la problématique d'amélioration des performances des animaux par leur mode de conduite : l'étude de la variation de la production laitière en fonction du type de végétation fréquenté par les troupeaux. Ce qui constitue un type d'approche de modélisation de la performance laitière en fonction de la ressource alimentaire.

Une régression linéaire multiple de la production laitière moyenne du troupeau en fonction du temps passé sur chaque type de végétation n'était pas raisonnable pour plusieurs raisons. D'abord le nombre de variables explicatives (les faciès) trop important, ce qui était contradictoire avec un objectif de modélisation qui sous-entend un effort de parcimonie dans le choix des critères. Ensuite, l'intensité des corrélations entre certains faciès trop importante pour espérer obtenir des estimations des paramètres du modèle suffisamment robustes. Enfin, le caractère multivarié des données de fréquentation qui s'entendent plutôt comme des profils de distribution du temps passé sur chaque faciès. Ce caractère ne pouvait pas être complètement pris en compte dans un modèle de régression linéaire multiple.

Toutes ces considérations nous obligeaient à envisager la construction d'une typologie de circuits qui pourrait être par la suite caractériser par les performances laitières. Ceci pouvait constituer une première approche mais elle restait descriptive.

La stratégie d'analyse qui a été adoptée fut la suivante. Dans un premier temps, faire le point sur les facteurs (année, saison, troupeau, vitesse de parcours) susceptibles de modifier la quantité de lait produite par animal. Puis analyser les différences de fréquentation de faciès selon ces mêmes facteurs. On a pu ainsi mettre en avant des compositions (associations) des faciès fréquentés de manière privilégiée par les troupeaux pour les différentes modalités des facteurs influant sur la production laitière.

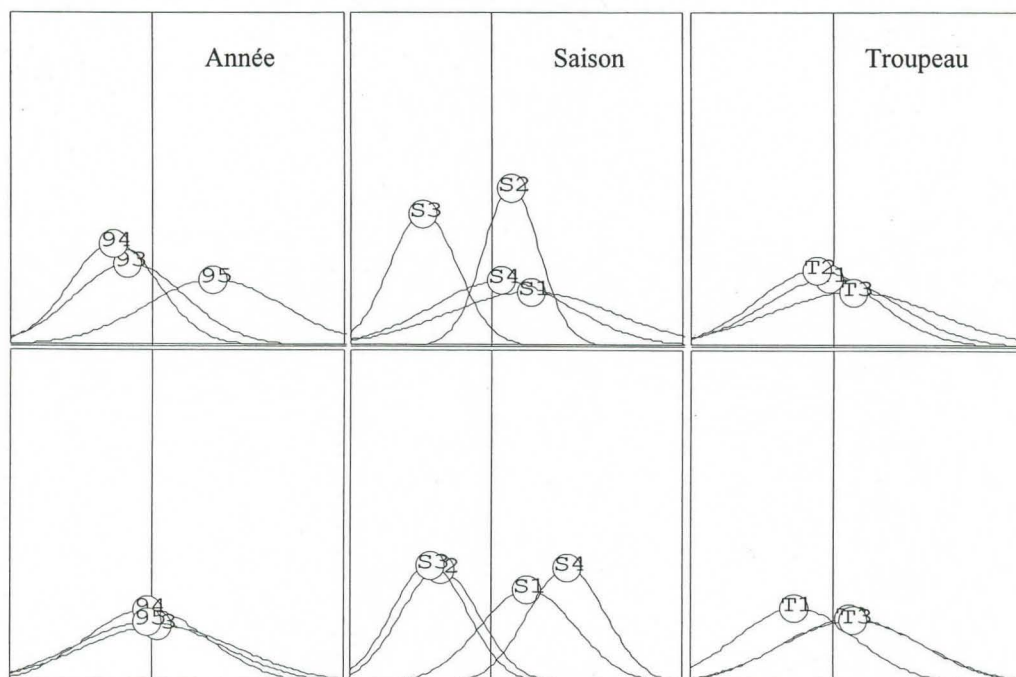
### 1.1. Etude des facteurs de variation de la production laitière.

Nous avons procédé à une analyse de covariance afin d'évaluer les effets des facteurs suivants : année d'observation, saison d'observation, troupeau et vitesse moyenne du troupeau pendant le parcours.

**Tableau 1.** Description des facteurs de variations potentiels de la production laitière.

Facteurs	Modalités
Année	1 : vêlages en hivernage 1993 : période du 15/09/93 au 01/11/94 2 : vêlages en hivernage 1994 : période du 15/11/94 au 01/11/95 3 : vêlages en hivernage 1995 : période du 15/11/95 au 01/11/96
Saison	1 : début de saison sèche, du 16 sept. au 15 nov. 2 : milieu de saison sèche, du 16 nov. au 31 mars 3 : fin de saison sèche, du 1 <sup>er</sup> avr. au 15 juil. 4 : saison des pluies, du 16 juil. au 15 sept.
Troupeau	1 : troupeau 1 : DIAO 2 : troupeau 2 : MAMA 3 : troupeau 3 : MAMO
Co-variable	
Vitesse moyenne du troupeau <sup>2</sup>	Distance parcourue en mètres / Durée du circuit en heures

<sup>2</sup> La vitesse combine deux paramètres eux-mêmes potentiellement influant sur le comportement alimentaire et donc sur la performance laitière : la distance et la durée totale du parcours.



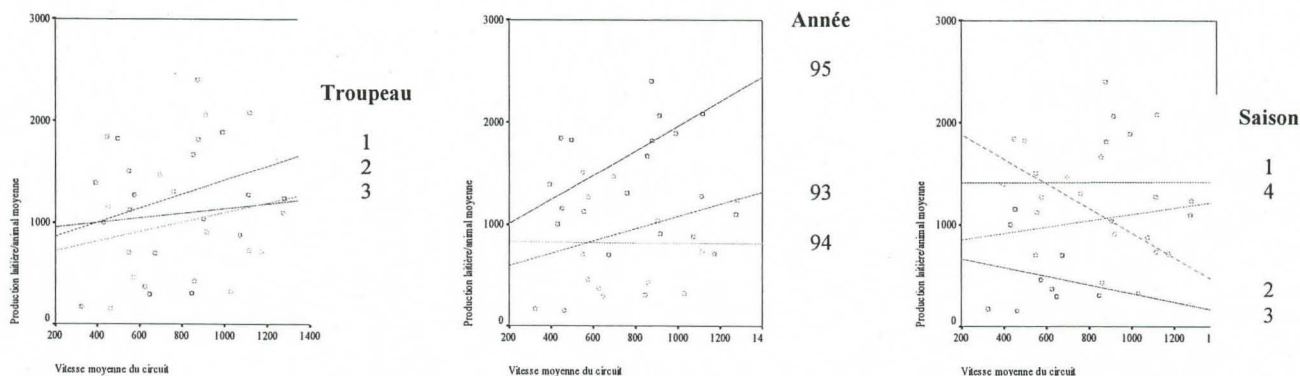
**Figure 1.** Distribution de la production laitière/animal/jour moyenne (les 3 graphiques en haut) et de la vitesse moyenne du circuit (en bas) selon les facteurs. Les variables ont été préalablement normalisées pour le multi-fenêtrage.

**Tableau 2.** Plan d'observation des circuits moyens des 3 troupeaux. Nombre de circuits utilisés pour le « moyennage » par troupeau.

Année	Saison	Troupeau 1	Troupeau 2	Troupeau 3
1	1	9	9	9
1	2	7	6	5
1	3	5	5	5
1	4	5	5	4
2	1	7	6	6
2	2	7	7	6
2	3	8	8	7
2	4	5	5	6
3	1	5	6	6
3	2	11	12	9
3	3	8	7	9
3	4	4	5	4

Une Anova simple a montré l'insuffisance du modèle linéaire (résidus non aléatoires, présence d'autocorrélations entre les circuits d'un même troupeau). Pour y remédier, on a décidé de travailler avec le fichier des moyennes de production laitière par animal pour le plan d'observation suivant : Année\*Saison\*Troupeau.





**Figure 3.** Co-dispersion de la production laitière moyenne/animal/jour (en ordonnée) et de la vitesse moyenne du troupeau (en abscisse) selon les facteurs fixes. Droites de régression linéaire calculées pour chaque niveau de facteurs.

D'après la figure 2, on peut remarquer :

- (i) Une légère augmentation de la production laitière conjointement avec la vitesse pour l'année 95 ( $R^2 = 28\%$ ).
- (ii) Une diminution de la production laitière qui s'accompagne d'une augmentation de la vitesse de parcours du troupeau en milieu de saison sèche (saison 2) ( $R^2 = 0.43$ ).

Les variations observées ne sont pas nécessairement significatives, on peut les évaluer à l'aide d'un modèle de covariance. Ce modèle intègre une co-variable vitesse de déplacement du troupeau pour estimer de l'effet des facteurs année, saison et troupeau sur la production laitière. L'analyse de covariance permettra de juger de la significativité de l'effet de la vitesse du troupeau sur la production laitière selon certaines modalités des facteurs fixes. Ceci revient à vérifier l'égalité des pentes des droites de régression de la figure 2.

Des graphiques d'interactions préliminaires ont permis de négliger les interactions entre les facteurs fixes. Ceux-ci n'ont pas d'effet combiné sur la production laitière.

**Tableau 3.** Analyse de covariance. Test des interactions entre la vitesse moyenne du parcours et les facteurs fixes.

Source	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	p.value
Intercept	81387.155	1	81387.155	0.880	.000
année	276199.851	2	138099.926	1.494	.360
saison	939139.827	3	313046.609	3.387	.251
troupeau	383982.615	2	191991.307	2.077	.041
vitesse	181905.992	1	181905.992	1.968	.154
<b>année x vitesse</b>	<b>860345.088</b>	<b>2</b>	<b>430172.544</b>	<b>4.654</b>	<b>.178</b>
<b>saison x vitesse</b>	<b>776413.127</b>	<b>3</b>	<b>258804.379</b>	<b>2.8</b>	<b>.023</b>
<b>troupeau x vitesse</b>	<b>744299.236</b>	<b>2</b>	<b>372149.618</b>	<b>4.026</b>	<b>.070</b>
Erreur	1663878.0	18	92437.688		.036
Total	54080073	34			

Le tableau 3 permet de conclure au seuil de 1% à l'absence d'interaction (égalité des pentes des droites de régression) pour tous les facteurs avec la covariable vitesse du troupeau. On peut considérer que l'effet de la vitesse sur la production laitière est sensiblement le même quel que soit le niveau des différents facteurs fixes considérés. Le tableau 4 permet d'évaluer les effets des facteurs fixes.

**Tableau 4.** Tableau Anova des effets des facteurs fixes.

Source	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	p.value
Intercept	705892.161	1	705892.161	5.284	.030
année	4130788.7	2	2065394.3	15.462	.000
saison	4173625	3	1391208.3	10.415	.000
troupeau	255273.855	2	127636.928	0.956	.398
vitesse	26996.808	1	26996.808	0.202	.657
Erreur	3339483.6	25	133579.345		
Total	54080073	34			

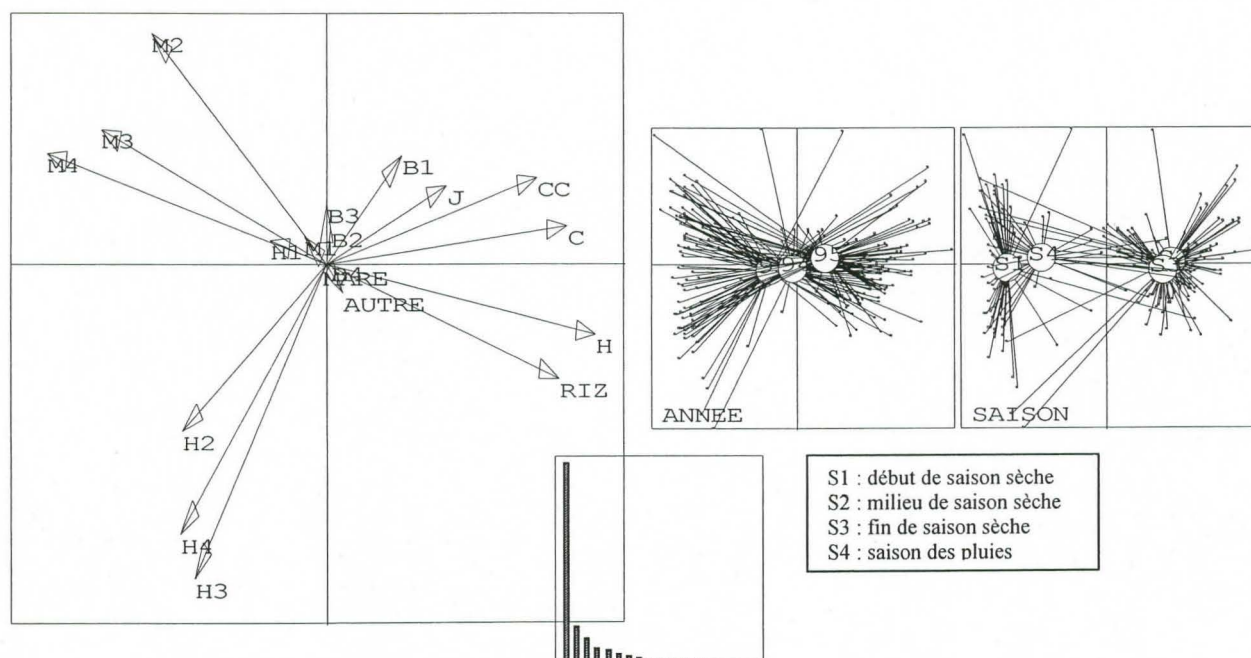
L'année « vèlages 1995 » est la plus productive en lait, les 3 troupeaux ont une production laitière journalière sensiblement identique, la saison « fin de saison sèche » est très peu productive alors que la vitesse n'a pas d'effet significatif.

## 1.2. Etude de la fréquentation des types de végétation par les troupeaux

A chaque parcours journalier de l'un des trois troupeaux étudiés correspond une ligne ou individu statistique du tableau de fréquentation des types de végétation (les variables ou colonnes du tableau). La fréquentation a été calculée en équivalent-temps passé par le troupeau sur chaque faciès.

Nous avons focalisé l'étude sur les proportions de temps passé par les troupeaux sur les faciès afin de mieux comparer les parcours. En considérant la durée totale brute, on néglige complètement les faciès peu fréquentés mais qui peuvent avoir une importance non négligeable sur la valeur des régimes alimentaires des animaux. On dispose donc d'une distribution de la durée du parcours selon les types de végétation fréquentés, ce qui correspond bien à la notion de profil de fréquentation de la végétation.

A noter également, que l'on a préalablement transformé les valeurs absolues en log. Ceci afin de rééquilibrer au mieux le poids des faciès peu fréquentés (histogrammes de distribution très dissymétriques).



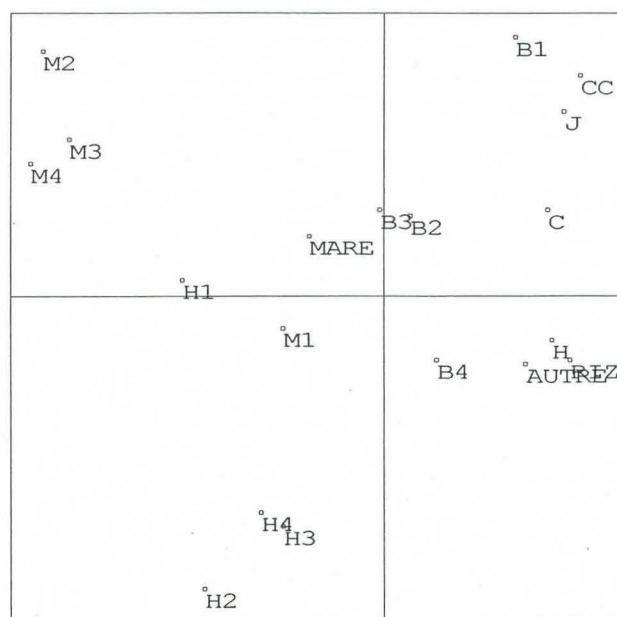
**Figure 4.** Plan factoriel 1-2 des faciès de l'ACP des profils de fréquentation (à gauche). Diagramme des valeurs propres (en bas). Représentation des parcours sur le plan factoriel 1-2 selon les facteurs année et saison, représentation des parcours moyens par niveau de facteurs et connexion des parcours d'un même niveau avec un segment (diagramme en étoiles, à droite). Le diagramme en étoiles permet de visualiser un éventuel effet d'un facteur sur la différenciation des circuits et leur dispersion par classe le long des facteurs synthétiques.



La figure 3, résultat de l'ACP sur les profils de fréquentation, montre les associations de faciès fréquentés par les troupeaux. Le premier facteur (F1, en abscisse) oppose les faciès de cultures (CC, C, H, RIZ) et les faciès moyens ligneux de forêt de peu dense à très dense (M2, M3, M4). C'est la source essentielle de différenciation des parcours qui est très liée aux saisons. Le diagramme en étoile montre que les strates forestières sont fréquentées presque exclusivement durant les saisons 1 (début de saison sèche) et 4 (saison des pluies). Les faciès de cultures et proches des habitations sont quant à eux privilégiés aux saisons sèches 2 (milieu de saison sèche) et 3 (fin de saison sèche). **La fréquentation de faciès qui est avant tout spatiale (les parcours se déroulent presque exclusivement soit en forêt, soit autour des cultures, rarement les deux) est fortement influencée par la saison (influence temporelle).**

Le second facteur est de beaucoup moindre importance (figure 3, diagramme des valeurs propres). Il permet de distinguer les parcours forestiers à dominantes strates ligneuses hautes (H2, H3, H4) de ceux à dominantes strates ligneuses moyennes (M2, M3, M4). On peut noter que la fréquentation des faciès ligneux éparses (M1, H1) et des faciès ligneux bas (B1 à B4) ne semblent pas être reliés à d'autres faciès et à fortiori aux saisons.

L'AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) considère les lignes et les colonnes du tableau de façon symétrique. Ainsi les faciès (les colonnes) sont comparés et mis en relation au vu de leur distribution des durées de passage des troupeaux. Nous avons considéré que raisonner selon les distributions de fréquences avait un intérêt pour les circuits (les lignes) mais pas pour les faciès (les colonnes).. De plus, l'AFC accorde plus de poids aux faciès peu fréquentés qui en tout état de cause ne sont pas déterminants sur la quantité et la qualité des régimes et donc des performances des animaux. Ces raisons expliquent le choix d'analyse par l'ACP sur les profils lignes. A titre de comparaison, nous avons fait figurer le plan factoriel 1-2 de l'analyse du même tableau par l'AFC sur la figure 4.



**Figure 5.** Plan factoriel 1-2 des faciès de l'AFC du tableau de fréquentation.

Les résultats sont sensiblement les mêmes à la différence près que certains faciès peu fréquentés comme B1 (strate ligneuse basse de forêt avec niveau de densité éparse) et AUTRE (autres faciès) ainsi que J (jachères) qui figurent ici proches des faciès de cultures, étaient complètement négligés lors de l'ACP sur les profils lignes. Ces différences sont essentiellement liées à la pondération induite par l'AFC qui favorise les colonnes (ou les lignes) à effectifs marginaux faibles.



### 1.3. Etude de la fréquentation des faciès selon les facteurs Année et Saison et mise en relation avec la production laitière.

#### 1.3.1. Projection des faciès sur le plan d'observation Saison + Année.

Les analyses simples ont montré la prééminence de la saison sur la fréquentation des faciès. Quant à l'effet Année, même s'il paraissait nettement moins important, on pouvait observer des différences annuelles de fréquentation : l'année 1995 semblait se distinguer des deux autres années d'observation (figure 3).

L'objectif, nous le rappelons, était de mettre en relation la performance laitière avec des fréquentations de faciès. Les résultats précédents nous ont montré qu'il était nécessaire de prendre en compte les facteurs Année et Saison qui jouaient un rôle direct sur le temps passé sur chaque faciès. Ces mêmes facteurs, nous l'avons vérifié, influencent également sur la quantité journalière de lait produite. L'idée était de focaliser notre attention sur les associations de faciès pour certains niveaux des facteurs. Si on observe des associations particulières de faciès pour le ou les niveaux d'un facteur influant sur la production laitière, on pourra (indirectement) relier les faciès considérés et le niveau de production laitière.

L'Analyse en Composantes Principales sur Variables Instrumentales (ACPVI) est une méthode de couplage de deux tableaux. Dans une stratégie d'analyse dissymétrique - l'un des tableaux étant explicatif de l'autre, c'est à dire qu'il permet d'expliquer tout ou partie de la variabilité de l'autre - l'ACPVI permet de quantifier la part de variabilité induite par les variables instrumentales ou explicatives dans les associations entre faciès. Elle fournit également une image (plan factoriel) de ces associations conditionnellement à certaines modalités ou combinaisons de modalités des facteurs pris en compte (Beffy & Dolédec, 1991, Dolédec & Chessel, 1987, Fraile *et al.*, 1993, Yoccoz, 1988).

La part de variabilité dans les associations globale entre faciès selon les facteurs peut être quantifiée et sa signification (son importance par rapport à la variabilité totale) peut faire l'objet d'un test de permutations (test de Monte Carlo) (tableau 5). Ce test est non paramétrique, c'est à dire qu'il ne fait référence à aucune hypothèse probabiliste. Son principe est le suivant : on effectue un nombre fixé  $n$  de permutations des lignes du tableau de fréquentation des faciès (tableau « à expliquer ») et l'on calcule à chaque fois le taux d'inertie simulée prise en compte par le ou les facteurs du plan d'observation retenu. Enfin on compare les taux obtenus par simulation avec celui qui a été observé. Si par exemple, en  $n$  permutations successives la valeur observée du taux d'inertie a été dépassée moins de  $k$  fois, on pourra dire qu'au seuil  $\frac{k}{100}$  (risque de 1<sup>ère</sup> espèce), les facteurs considérés ont un effet significatif (Fraile *et al.*, 1993).

**Tableau 5.** Pourcentage et significativité de l'inertie expliquée (variabilité des fréquentations de faciès) par les facteurs.

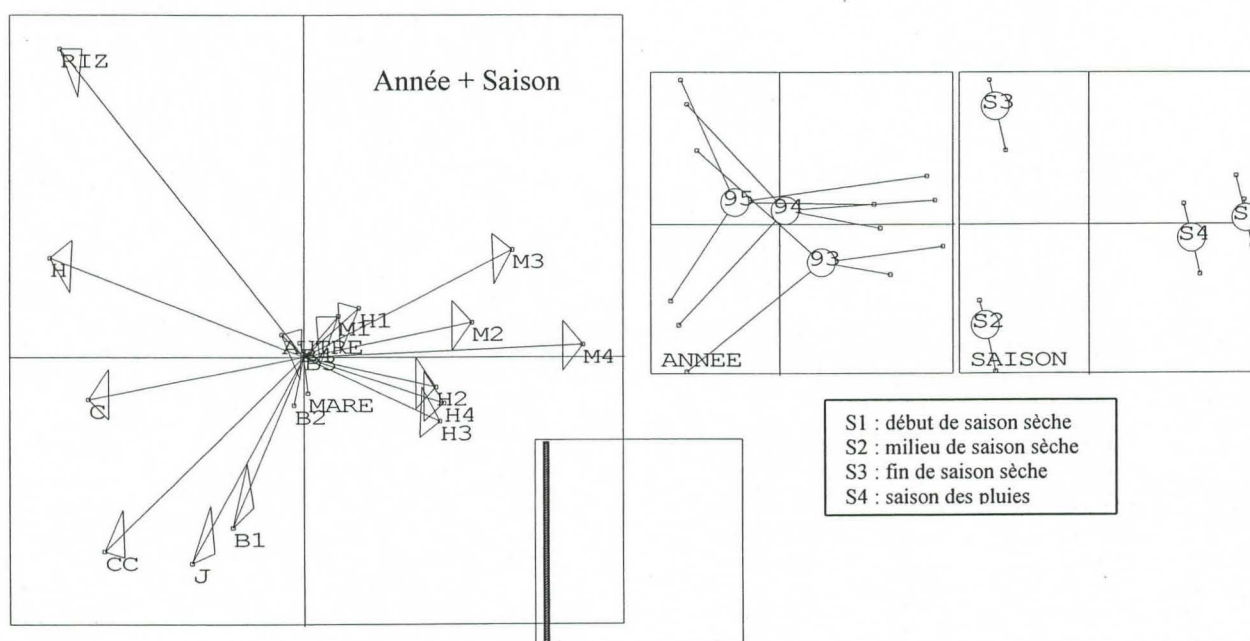
Facteurs	% d'inertie expliquée (%)	Signification
Année	3.84	P<0.001
Saison	36.56	P<0.001
<i>interaction</i> (Année, Saison)	2.45	ns
Année + Saison	37.30	P<0.001
Année + Saison + <i>interaction</i> (Année, Saison)	39.76	P<0.001

L'ACPVI fournit des représentations factorielles où les associations entre faciès conditionnellement aux facteurs sont maximisées (figure 5). On pourra alors repérer les faciès caractéristiques d'une saison et/ou d'une année. Quant à l'inertie maximisée, elle est décomposable par faciès, ce qui est une manière de quantifier pour chacun sa part dans la variabilité expliquée (tableau 6).

**Tableau 6.** Décomposition de l'inertie expliquée par les différents modèles selon les faciès (en %).

	Faciès	Saison		Année		Année+saison	
		Expliquée	résiduelle	expliquée	résiduelle	expliquée	résiduelle
1	B1	16.89	83.10	1.48	98.51	18.05	81.94
2	B2	1	98.99	2.71	97.28	4.33	95.66
3	B3	0.26	99.73	1.38	98.61	1.62	98.37
4	B4	3.35	96.64	1.14	98.85	4.18	95.81
5	M1	8.87	91.12	2.11	97.88	10.04	89.95
6	M2	<b>37.36</b>	62.63	1.41	98.58	<b>37.53</b>	62.46
7	M3	<b>44.85</b>	55.14	2.34	97.65	<b>45.33</b>	54.66
8	M4	<b>60.89</b>	39.10	2.58	97.41	<b>61.01</b>	38.98
9	H1	12.70	87.29	1.81	98.18	13.16	86.83
10	H2	26.30	73.69	<b>5.33</b>	94.66	27.69	72.30
11	H3	20.88	79.11	4.00	95.99	21.70	78.29
12	H4	21.52	78.47	<b>6.54</b>	93.45	23.78	76.21
13	H	<b>50.52</b>	49.47	<b>5.82</b>	94.17	<b>51.15</b>	48.84
14	J	27.75	72.24	1.19	98.80	28.15	71.84
15	C	<b>39.75</b>	60.24	3.16	96.83	<b>39.82</b>	60.17
16	CC	<b>41.25</b>	58.74	<b>5.39</b>	94.60	<b>41.82</b>	58.17
17	MARE	3.07	96.92	1.62	98.37	4.44	95.55
18	RIZ	<b>47.09</b>	52.90	<b>5.71</b>	94.28	<b>47.78</b>	52.21
19	AUTRE	5.53	94.46	2.54	97.45	6.91	93.08
	<b>Total</b>	<b>36.56</b>	<b>63.43</b>	<b>3.84</b>	<b>96.15</b>	<b>37.30</b>	<b>62.69</b>

On retient le modèle Année + Saison sachant que l'essentiel de la variabilité des fréquentations de faciès est lié à la saison.



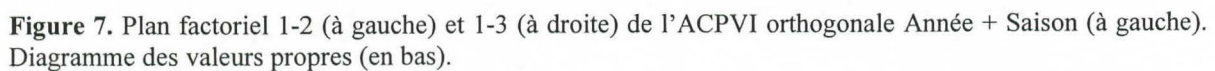
**Figure 6.** Plan factoriel 1-2 de l'ACPVI Année + Saison (à gauche). Diagramme des valeurs propres (en bas). Plan factoriel des parcours moyens par année et par saison (à droite).

On observe le long du premier facteur, l'opposition des saisons des pluies (S1 et S4), associées à la fréquentation des faciès de forêt et des saisons sèches (S2 et S3), associées à la fréquentation des faciès de cultures. Le second facteur exprime une quantité d'inertie négligeable par rapport au premier facteur (diagramme des valeurs propres). Il permet tout de même d'observer de légères différences de fréquentation entre les deux saisons sèches (strates H et RIZ pour la fin de saison sèche contre strates CC, J et B1 en milieu de saison sèche).



Il n'y a pas contradiction entre les 2 résultats. La fin de saison sèche (saison 3) est un moment clé dans le calendrier, où les ressources sont rares donc très limitantes. Une augmentation quantitative de la ressource au cours de cette saison permet une amélioration très sensible de la production laitière.

Par la suite, on a effectué une ACPVI orthogonale. C'est à dire que l'on visualise les corrélations entre faciès indépendamment de celles induites par l'année et la saison (figure 6). On n'observe pas de différence, avec la projection sur le plan Année + Saison (figure 5), hormis l'inversion des axes. Pourtant l'inertie non expliquée par les deux facteurs est structurée (figure 6, diagramme des valeurs propres), il faut en conclure que la fréquentation des faciès n'est pas seulement dictée par les saisons. C'est la structure spatiale de fréquentation des faciès qui est mise en évidence ici.

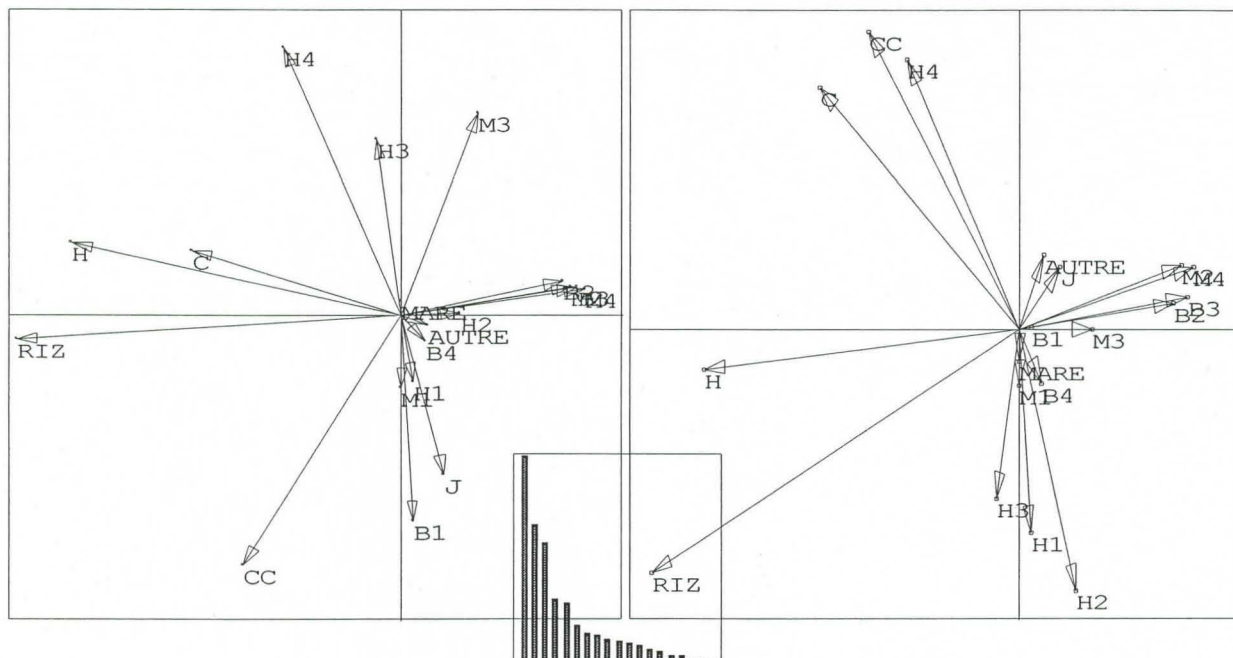


15



### 1.3.3. ACPVI intra fin de saison sèche.

Nous avons décidé de reconduire les mêmes analyses sur une partie seulement des circuits : ceux de la saison la moins productive en lait. Les résultats de L'ACP sur les profils de fréquentation des faciès en fin de saison sèche sont résumés sur la figure 7.



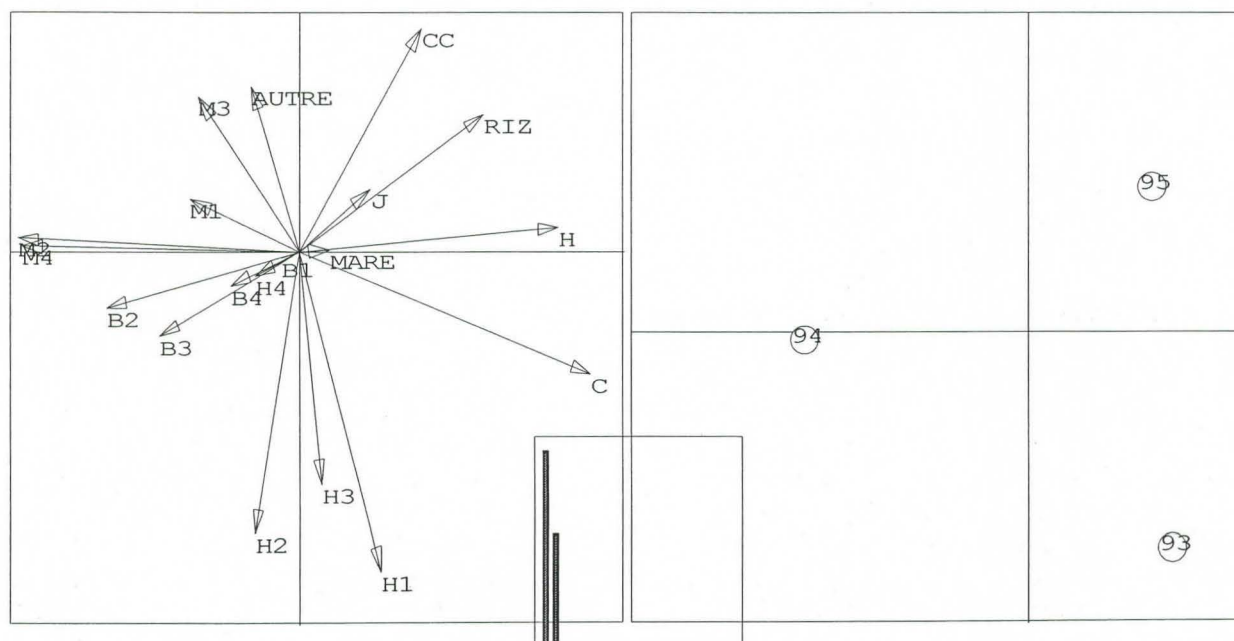
**Figure 8.** Plan factoriel 1-2 (à gauche) et 1-3 (à droite) de l'ACP sur les profils de fréquentation des faciès des troupeaux en fin de saison sèche. Diagramme des valeurs propres (en bas).

Les parcours observés en fin de saison sèche conservent globalement la structure observée lors de l'ACPVI orthogonale Saison + Année. On retrouve l'association entre riziculture (RIZ) et faciès herbacés (H) pour toutes les saisons. On a également observé un certain nombre de contradictions sur les facteurs 2 et 3 qui rendent impossible leur interprétation. Par exemple, sur le facteur 3, la proximité des faciès de cultures – CC et C – avec le faciès ligneux – H4 – contredisant les associations mis en évidence sur le facteur 2.

**Tableau 7.** Contributions en % des faciès à la détermination des facteurs de l'ACP des parcours en fin de saison sèche.

Faciès	facteur 1	facteur 2	facteur 3
B1	0.02	<b>14.37</b>	0
B2	5.50	0.37	0.16
B3	6.49	0.23	0.24
B4	0.11	0.23	0.64
M1	0	1.83	0.72
M2	6.14	0.25	0.94
M3	1.20	<b>13.56</b>	0
M4	7.06	2.0	0.89
H1	0.02	1.56	9.26
H2	0.73	0	<b>15.39</b>
H3	0.13	<b>10.25</b>	6.42
H4	2.98	<b>24.10</b>	<b>16.39</b>
H	<b>23.03</b>	1.68	0.35
J	0.38	8.61	0.86
C	9.28	1.35	<b>13.06</b>
CC	5.28	<b>21.03</b>	<b>19.83</b>
MARE	0	0.05	0.21
RIZ	<b>31.43</b>	0.22	<b>13.33</b>
AUTRE	0.12	0.04	1.22

L'ACPVI, avec le plan explicatif Année, permet de déceler des différences entre les 3 années d'observation au cours de cette même saison d'étude. La figure 8 résume les résultats principaux de cette analyse.



**Figure 9.** Plan 1-2 (à droite) de l'ACPVI sur le plan Année (ou ACP inter-année) pour les parcours de saison de fin saison sèche. Diagramme des valeurs propres (au centre). Plan 1-2 des circuits annuels moyens pour les parcours de fin de saison sèche.

Le plan des faciès permet d'identifier ceux qui s'associent et ceux qui s'opposent avec l'année la plus productive en lait : 1995. La décomposition de l'inertie expliquée (6.73%, test de permutations : sig<0.01) selon chaque faciès, par le facteur Année est présentée dans le tableau 8.

**Tableau 8.** Décomposition de l'inertie expliquée par l'année selon les faciès (en %).

strates	Inertie expliquée	Inertie résiduelle
B1	0.11	99.88
B2	<b>13.01</b>	86.98
B3	5.86	94.13
B4	5.46	94.53
M1	6.38	93.61
M2	<b>22.79</b>	77.20
M3	4.86	95.13
M4	<b>17.05</b>	82.94
H1	<b>16.72</b>	83.27
H2	<b>9.48</b>	90.51
H3	<b>7.06</b>	92.93
H4	0.47	99.52
H	<b>6.78</b>	93.21
J	1.60	98.39
C	<b>12.06</b>	87.93
CC	4.41	95.58
MARE	2.75	97.24
RIZ	2.81	97.18
AUTRE	6.66	93.33
<b>Total</b>	<b>6.73</b>	<b>93.26</b>

Le pourcentage d'inertie reconstituée par le facteur Année, même s'il est significatif, n'est pas considérable. Il est nécessaire d'interpréter prudemment les relations entre faciès et année.

Pour l'année 1995, en fin de saison sèche comme pour toutes les saisons d'ailleurs, on constate une fréquentation accrue des faciès de culture : riz (RIZ), cultures de case (CC) et surfaces herbacées (H). On peut expliquer ce phénomène et par-là même une relation avec une augmentation de la production laitière, par une année pluvieuse qui a favorisé la disponibilité en ressources issues de l'agriculture.

Quant aux années 1993 et 1994, nous n'avions pas noté de différences significatives de production laitière. Au cours de cette saison, on peut observer sur la figure 8 une préférence des troupeaux pour les strates ligneuses hautes (H1, H2, H3) en 1993 et pour les strates ligneuses moyennes (M2, M4) en 1994.

Les strates ligneuses ne semblent pas jouer un rôle décisif sur le niveau de performance laitière. Au cours de cette saison clé où la quantité de lait produite par les animaux est au plus bas, ce sont les quantités accrues d'aliments issus de l'agriculture qui permettent de maintenir un équilibre.

### Bilan méthodologique

S'affranchir de l'effet saisonnier n'est pas suffisant, la structure de fréquentation est également spatiale, elle révèle nos deux types de parcours : parcours de forêts et parcours de cases/cultures. Une étude par type de parcours s'avère indispensable pour s'affranchir de l'effet saison.



## 2. Relation entre faciès de végétation et paramètres alimentaires.

La difficulté de modéliser la production laitière avec les faciès de végétation nous a obligés à considérer d'autres paramètres qualifiant l'alimentation des animaux. Les paramètres alimentaires de composition botanique (teneur en graminées, légumineuses, ligneux et résidus de récolte), de qualité azotée (MAD) et énergétique (DMO) des régimes alimentaires calculés à l'échelle du troupeau, qualifient la qualité de la ration et peuvent préjuger des performances laitières. Il était intéressant d'établir dans quelle mesure la fréquentation de faciès particuliers ou de combinaisons de faciès permet d'expliquer des variations de ces paramètres alimentaires. Ceci constitue le second objectif de notre travail. Nous avons également retenu le paramètre : % moyen d'animaux pâturent pendant le circuit (PCPAT) qui donne une indication sur l'activité alimentaire et notamment sur la quantité d'aliments ingérés pendant le parcours.

Afin de « gagner » en robustesse, nous avons préféré regrouper les faciès corrélés entre eux en nous basant sur les résultats de l'ACP des profils de fréquentation des faciès par les troupeaux. Pour certains faciès souvent très peu fréquentés et qui par conséquent, n'apparaissaient pas ou très peu dans les mises en évidences des fréquentations, nous avons fait les regroupements qui semblaient les plus pertinents du point de vue biologique (c'est le cas pour le regroupement B2 et B3 et B1 avec C, CC, J). Quant aux faciès Mare et Autres, ils ont été négligés car très peu informatives du point de vue de l'alimentation (une éventuelle liaison avec les paramètres alimentaires aurait été difficile, voire impossible à interpréter).

**Tableau 9.** Regroupements des faciès selon leurs profils de fréquentation par les troupeaux.

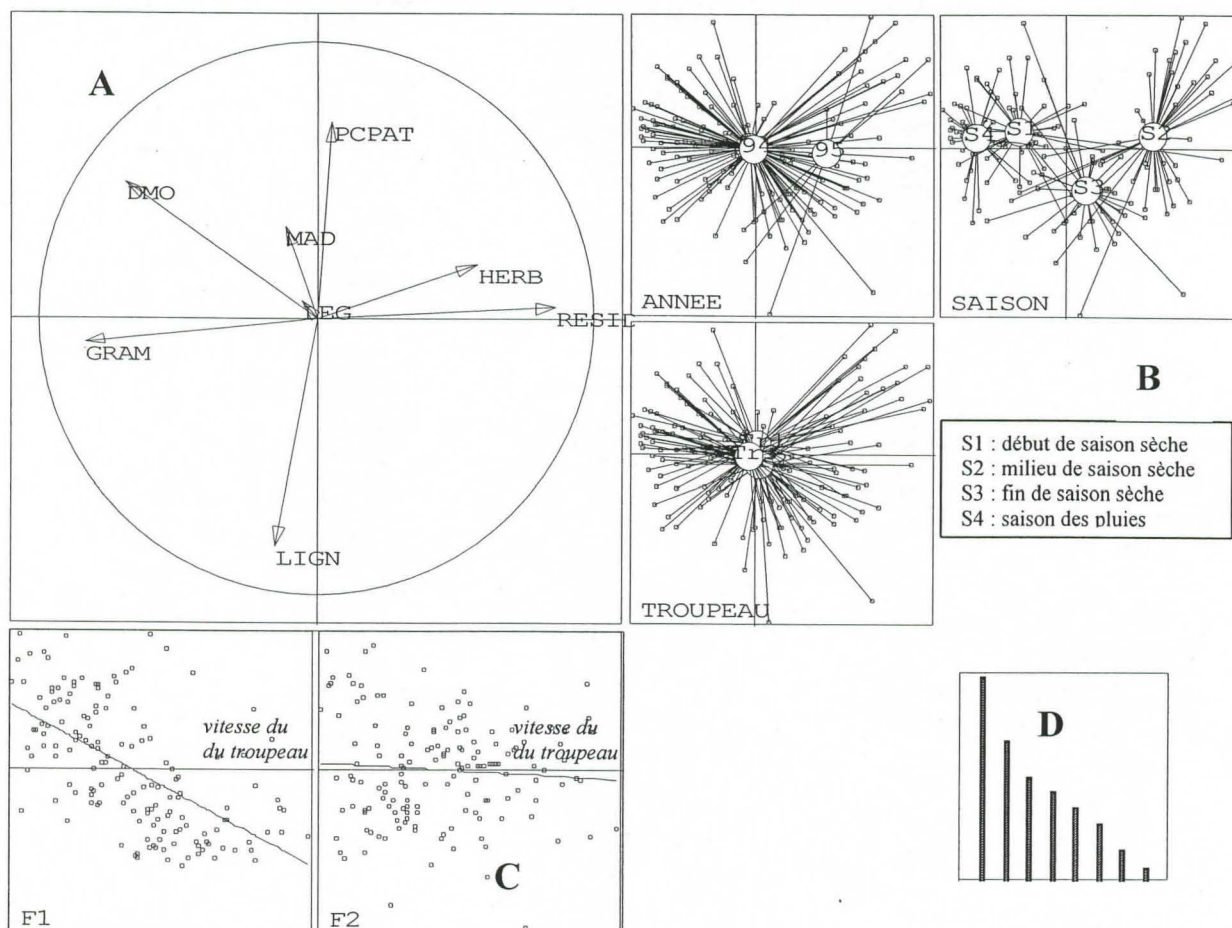
faciès	faciès regroupés	libellé
C, CC, J, B1	cultures	CLT
B4	strate ligneuse basse très dense	B4
B2, B3	strates ligneuses basse, densité moyenne	B23
M1	strate ligneuse moyenne éparse	M1
M2, M3, M4	strates ligneuses moyennes, densité moyenne à très dense	M234
H1	strate ligneuse haute, éparse	H1
H2, H3, H4	strates ligneuses hautes, densité moyenne à très dense	H234
RIZ, H	riziculture et surface herbacées	RIZH

Les faciès ont été regroupés en sommant les temps de parcours. Ceci afin de ne pas éliminer l'effet quantitatif du temps passé sur les faciès et qui pourraient être relié à certains paramètres alimentaires. Nous avons également supprimé de l'échantillon, des circuits avec des valeurs nulles ou mal enregistrées pour les variables DMO et MAD.

### 2.1. Analyse des relations et des facteurs de variation des paramètres alimentaires.

#### 2.1.1. ACP normée des paramètres alimentaires.

Afin de décrire le système de relations linéaires entre les descripteurs de l'alimentation des animaux mesurés à l'échelle du troupeau-circuit nous avons procédé à l'ACP normée, des variables préalablement transformées en  $\log+1$  (figure 9).



**Figure 10.**

- A. Plan factoriel 1-2 (en haut, à gauche) de l'ACP normée des paramètres alimentaires.
- B. Représentation des parcours sur le plan factoriel 1-2 (en haut, à droite) selon les facteurs Année, Saison et Troupeau, représentation des parcours moyens par niveau de facteur et connexion des parcours d'un même niveau avec un segment (diagramme en étoiles).
- C. Co-dispersion vitesse de déplacement du troupeau (en abscisse) et les coordonnées factorielles du premier facteur (en ordonnée).
- D. Diagramme des valeurs propres.

Les plantes herbacées (HERB) et les résidus de récolte (RESID) sont associés dans les régimes alimentaires et s'opposent à des régimes plus riches en graminées (GRAM). La teneur en ligneux est indépendante des types de plantes précitées mais corrélée négativement avec l'activité alimentaire des troupeaux (PCPAT). Cette opposition correspond aux deux types de parcours (circuits en forêt et circuits sur et autour des cultures). Enfin, on ne peut rien dire de la qualité énergétique des régimes (DMO), même si sa position sur la carte factorielle se rapproche plus de graminées (GRAM) que des autres types d'aliments.

La figure 9.b permet de visualiser l'impact des facteurs du plan d'observation sur les corrélations entre paramètres alimentaires. La forte différenciation des parcours selon l'alimentation est saisonnière (positionnement des parcours saisonniers moyens le long du facteur 1). L'année 1995 voit les teneurs en résidus de récolte des régimes des animaux, plus importantes que les années précédentes. Il semble enfin que les 3 troupeaux ont des régimes alimentaires quasi identiques.

D'après la figure 9.c, on détecte une corrélation négative entre la vitesse de déplacement du troupeau (en abscisse) et les coordonnées factorielles du premier facteur (en ordonnée). Ce dernier synthétise l'opposition entre régimes à base de résidus et de plantes herbacées et régimes à base de graminées. Les troupeaux les plus rapides sont donc plutôt ceux à régimes graminéens. Ou plutôt, les régimes graminéens impose des vitesses plus



élevées de déplacement du troupeau. Ceci s'explique par le relatif éloignement des plantes graminées du village, point de départ des parcours. Parcours plus longs qui imposent par conséquent des vitesses de déplacement plus importantes.

### 2.1.2. ACP intra-saison des paramètres alimentaires.

Les préférences alimentaires sont, on vient de le voir, dictées par les saisons. Il était intéressant d'étudier le jeu des relations des paramètres alimentaires toutes saisons confondues. Une ACP intra-saison permet de focaliser l'attention sur les différences intra-saisonnières entre parcours (Dolédec & Chessel, 1987). Le tableau analysé est celui des écarts aux moyennes par saison (centrage des variables par leur moyenne saisonnière) : on obtient une image de la variabilité des parcours et des corrélations entre des paramètres alimentaires internes à chaque saison.

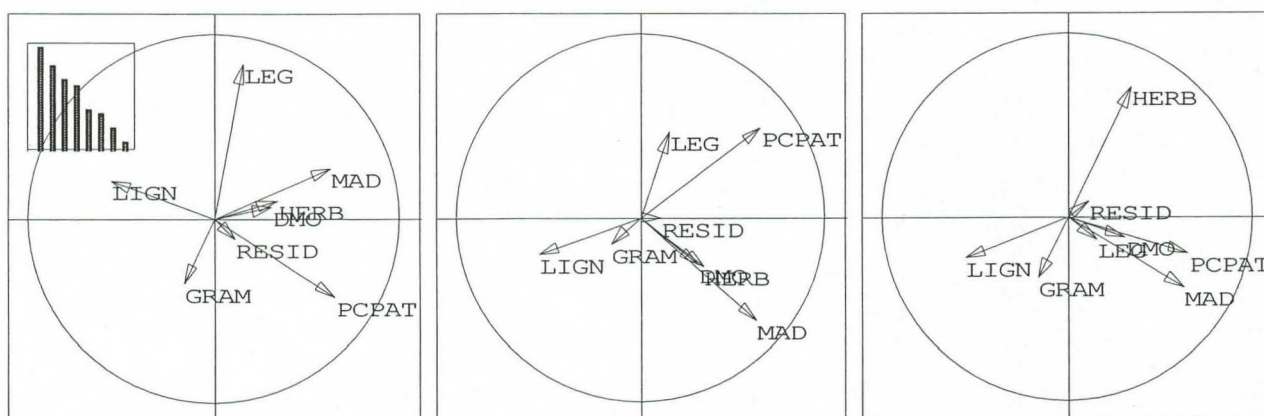
**Tableau 10.** Significativité de l'inertie expliquée (variabilité des relations entre paramètres alimentaires) par les facteurs – Test de permutations de type Monte-Carlo.

Année	p<0.001
Saison	p<0.001
Troupeau	p=0.18 non significatif

Même si l'effet année est significatif, nous avons étudié uniquement les différences intra-saisonnières. Elles constituent l'essentiel de la variabilité globale.

**Tableau 11.** Matrice de corrélation intra-saison entre les paramètres alimentaires.

	GRAM	LEG	LIGN	RESID	HERB	PCPAT	MAD	DMO
GRAM	1							
LEG	-0.30	1						
LIGN	0.07	-0.01	1					
RESID	-0.31	-0.22	-0.25	1				
HERB	-0.23	-0.04	-0.22	-0.04	1			
PCPAT	0.03	-0.02	-0.39	0.09	0.00	1		
MAD	-0.04	0.09	-0.08	0.10	0.12	0.12	1	
DMO	0.03	0.01	-0.23	-0.12	0.10	0.05	0.38	1



**Figure 11.** Plans factoriels 1-2, 1-3 et 1-4 de l'ACP intra-saison des paramètres alimentaires (le facteur 1 est l'axe horizontal).



**Tableau 12.** Interprétation de l'ACP intra-saison. Contribution des paramètres alimentaires aux facteurs (en %).

	facteur 1	facteur 2	facteur 3	facteur 4
GRAM	1.81	11.17	2.18	12.96
LEG	1.70	<b>60.95</b>	<b>22.10</b>	1.81
LIGN	<b>21.78</b>	3.62	4.41	5.83
RESID	0.89	1.11	0	0.80
HERB	8.32	0.74	7.33	<b>55.66</b>
PCPAT	<b>30.33</b>	15.89	<b>24.35</b>	4.52
MAD	<b>28.28</b>	6.18	<b>32.51</b>	16.95
DMO	6.85	0.30	7.09	1.41

L'analyse révèle une décomposition de l'inertie en quatre facteurs où les variables présentent de faibles corrélations (tableau 11) et une relative indépendance entre paramètres alimentaires quelle que soit la saison (figure 10).

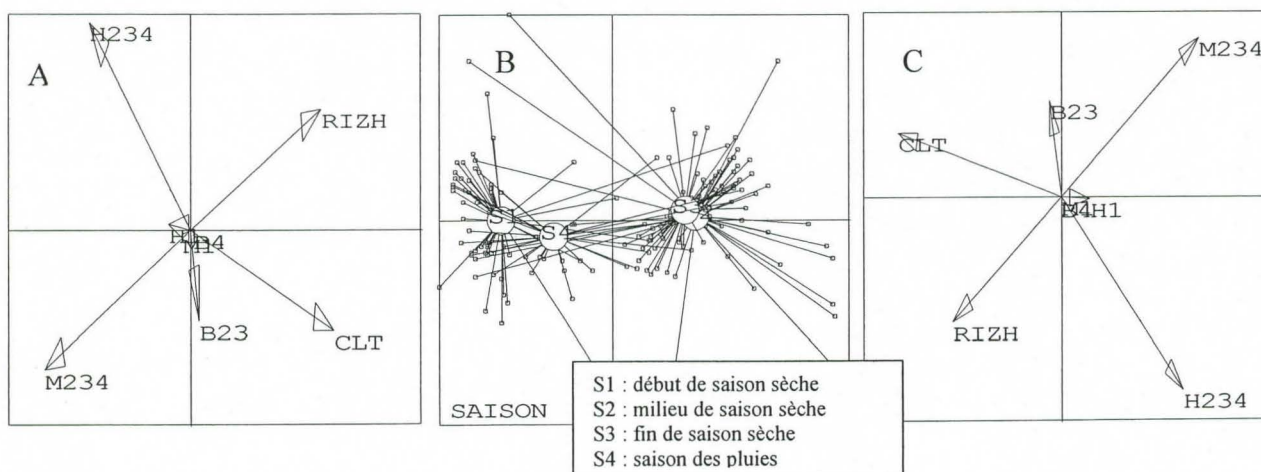
La description des plans factoriels (figure 10) (lecture uniquement des variables qui ont une forte contribution) permet de préciser les choses :

- (i) Une corrélation qui reste faible entre la qualité azotée des régimes (MAD) et le % moyen d'animaux pâturant durant le circuit (PCPAT) (sur le facteur 1, confirmée sur le facteur 3).
- (ii) Une indépendance avec la teneur en légumineuse (LEG) des régimes évoqués en (i) (facteur 2).
- (iii) Une indépendance entre la teneur en plantes herbacées (HERB) et le % d'animaux pâturant (PCPAT) d'une part et la qualité azotée des régimes (MAD) d'autre part (facteur 4).

Ce que l'on peut retenir, c'est qu'il n'y a pas à l'intérieur d'une même saison, une préférence claire des troupeaux pour plusieurs types de végétaux. Ni même de relations significatives entre types de végétaux et un indicateur de qualité (MAD, DMO) ou de quantité (PCPAT) des régimes alimentaires.

## 2.2. Analyse des relations faciès fréquentés et paramètres alimentaires.

### 2.2.1. Etude des compositions de faciès fréquentés après regroupement.



**Figure 12.**

**A.** Plan 1-2 de l'ACP des profils de fréquentations des faciès regroupés.

**B.** Représentation des circuits moyens par saison sur le plan 1-2 de l'ACP des profils de fréquentation des faciès regroupés. Connexion des parcours d'un même niveau avec un segment (diagramme en étoiles).

**C.** Plan 1-2 de l'ACP intra-saison des profils de fréquentation des faciès regroupés.

On a travaillé sur les faciès regroupés et transformés en log. La structure mise en évidence par l'ACP intra-saison (structure spatiale des fréquentations de faciès) est très proche de celle de l'ACP avec les faciès non regroupés des profils de fréquentation (figure 11.a et 11.c., attention cependant à l'inversion des axes). Pour la description des plans factoriels, se reporter à la partie : 1.2 *Etude des fréquentations de faciès*, les résultats avec les faciès non regroupés sont en effet identiques.

Lors de cette dernière analyse, qui met en avant les variables à plus forte variance (ACP sur la matrice de variance-covariance), les faciès peu fréquentés (B23, M1, H1) disparaissent du débat. Le regroupement de faciès comptabilisant une fréquentation déjà importante n'a fait que renforcer cette tendance.

### 2.2.2. Ordination sous contrainte.

Nous avons procédé à l'analyse du jeu des relations entre le tableau faciès (variables explicatives) et le tableau des paramètres alimentaires (variables à expliquer) grâce à l'ACPVI sous contrainte (Yoccoz & Chessel, 1988). La contrainte consiste à éliminer du tableau explicatif un effet qui peut être gênant ou masquant. En l'occurrence, ici, on a vu que la saison structure de manière très forte les compositions de faciès et donc par là-même leurs éventuels influences sur les paramètres alimentaires. L'élimination d'un effet est un simple centrage du tableau selon les groupes de lignes induites par les niveaux du facteur.

On a donc tenté d'expliquer les liaisons entre variables qui qualifient la quantité et la qualité alimentaire des régimes à la lumière des faciès de végétation fréquentés et ce indépendamment des saisons. Ou du point de vue des circuits (les individus statistiques) : tenter d'expliquer la variabilité « alimentaire » des parcours par les profils de végétation traversés par les troupeaux, profils dont la variabilité saisonnière a été préalablement éliminée.

L'ACPVI produit des axes canoniques qui sont le résultat d'une combinaison linéaire des variables explicatives (les faciès de végétation). Chaque combinaison de faciès (chaque axe canonique) maximise la dispersion des variables à prédire (les paramètres alimentaires). Ces derniers se voient attribuer de nouvelles coordonnées (scores canoniques) exprimant l'intensité de leur relation avec les facteurs synthétiques de la fréquentation des faciès. Les graphiques factoriels produits (figure 12) se lisent comme pour une analyse factorielle classique (Yoccoz & Chessel, 1988).

Au total, un peu plus de 11% de la variance des paramètres alimentaires est expliquée par les faciès. Un test de permutation montrant par ailleurs que cette inertie expliquée est significative ( $p=0.002$ ). Environ 36% de cette inertie expliquée est repris par le premier facteur de l'ACPVI et 17% par le second, seuls ces deux facteurs pouvant être interprétés (diagramme de valeurs propres).

Cette inertie expliquée (tableau 13) est décomposable selon les paramètres alimentaires (tableau 14). Hormis la teneur en résidus de récolte et celle de ligneux dans le régime alimentaire, les taux sont très modestes et obligent à la prudence en terme d'interprétation. En tout état de cause, les liaisons (linéaires) entre l'alimentation et la végétation sont loin d'être évidentes. On peut tenter de l'expliquer par la nature même des données traitées ou encore par l'insuffisance du modèle linéaire. Ceci est particulièrement vrai pour certains faciès très peu dense (figures 12.d et 12.e).

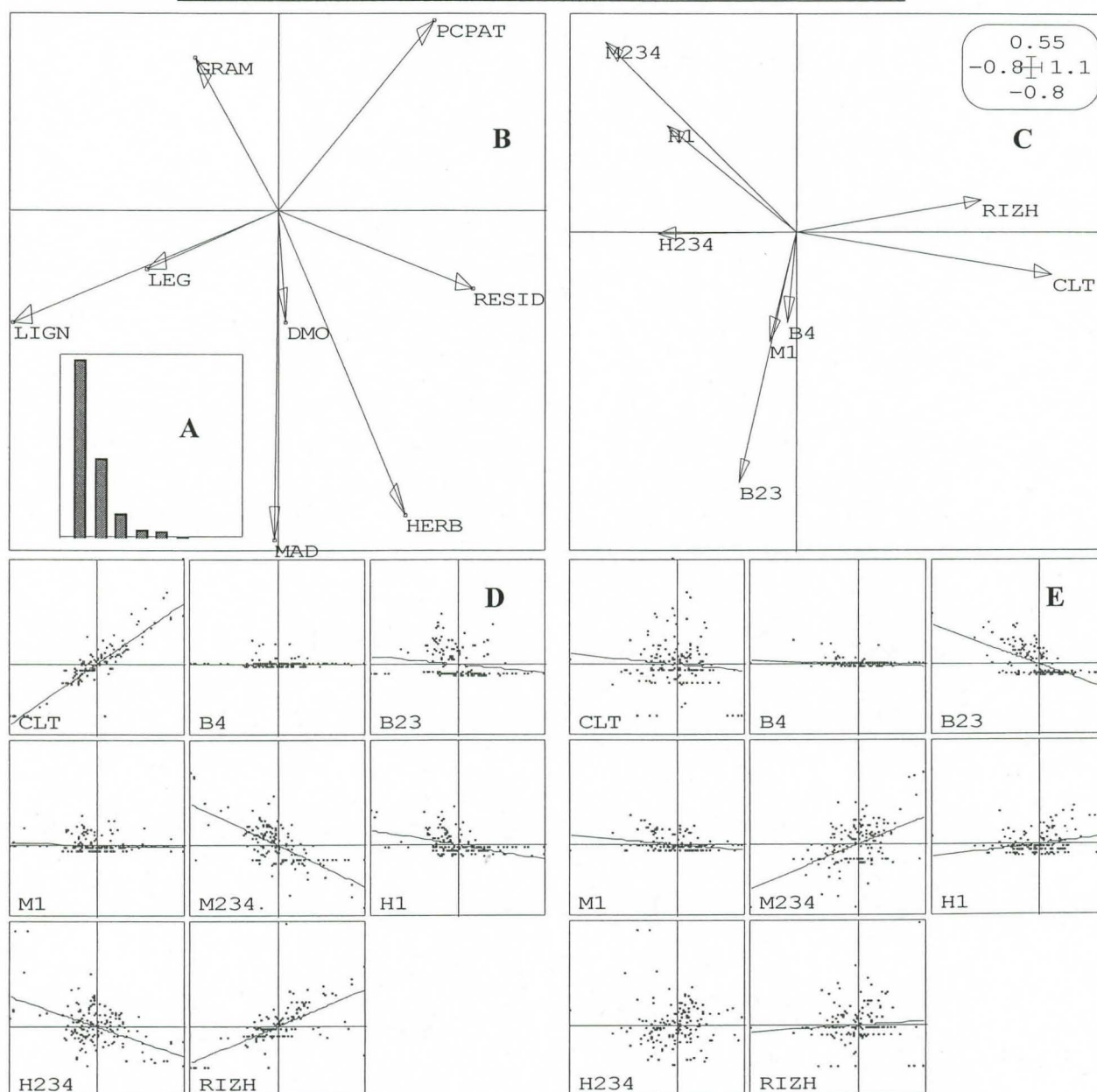
**Tableau 13.** Valeurs propres et variance expliquée maximisées (en %) par les axes canoniques.

Facteur	Valeur propre	R <sup>2</sup> ( en % )
f1	0.3821	35.9
f2	0.1716	17



**Tableau 14.** Décomposition de l'inertie expliquée des paramètres alimentaires par les faciès.

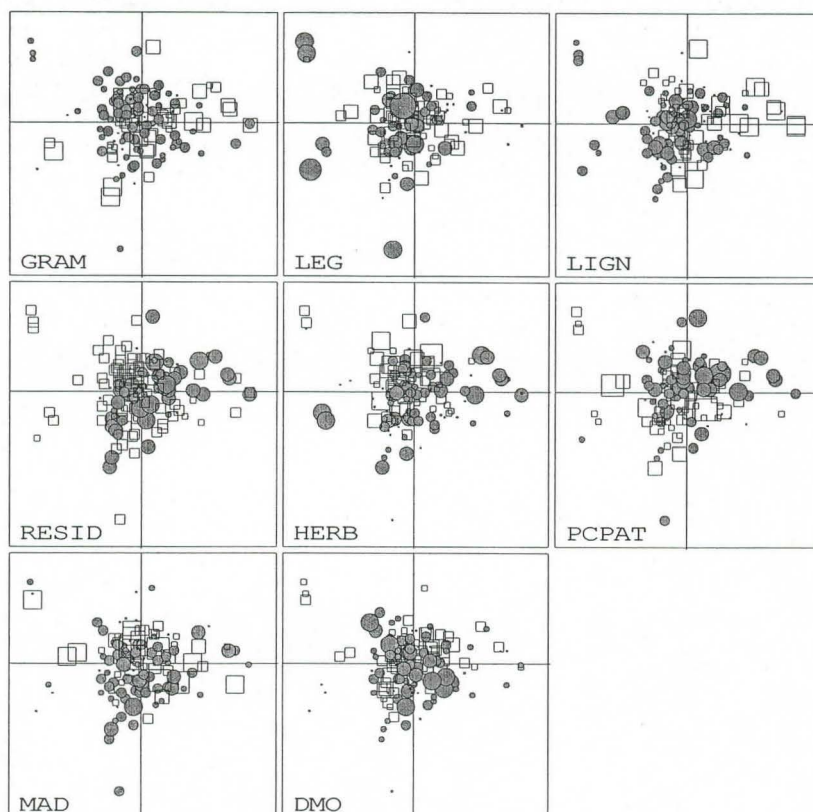
	Inertie projetée	Inertie résiduelle	Inertie totale	d'inertie expliquée (en %)
GRAM	0.039	0.539	0.578	6.69
LEG	0.056	0.920	0.976	5.76
LIGN	0.168	0.533	0.701	<b>23.99</b>
RESID	0.115	0.211	0.326	<b>35.27</b>
HERB	0.098	0.699	0.797	<b>12.29</b>
PCPAT	0.086	0.888	0.974	8.86
MAD	0.067	0.899	0.967	6.94
DMO	0.021	0.463	0.485	4.35
<b>Total</b>	<b>0.651</b>	<b>5.153</b>	<b>5.804</b>	<b>11.21</b>



**Figure 13.**

- A. Diagramme des valeurs propres de l'ACPVI.
- B. Plan factoriel 1-2 des paramètres alimentaires (variables à expliquer) de l'ACPVI.
- C. Corrélation entre les faciès de végétation fréquentés (variables explicatives) et les axes canoniques 1 et 2 de l'ACPVI.
- D. Co-dispersion des faciès avec le premier axe canonique (facteur 1, en abscisse) de l'ACPVI.
- E. Co-dispersion des faciès avec le second axe canonique (facteur 2, en abscisse) de l'ACPVI.



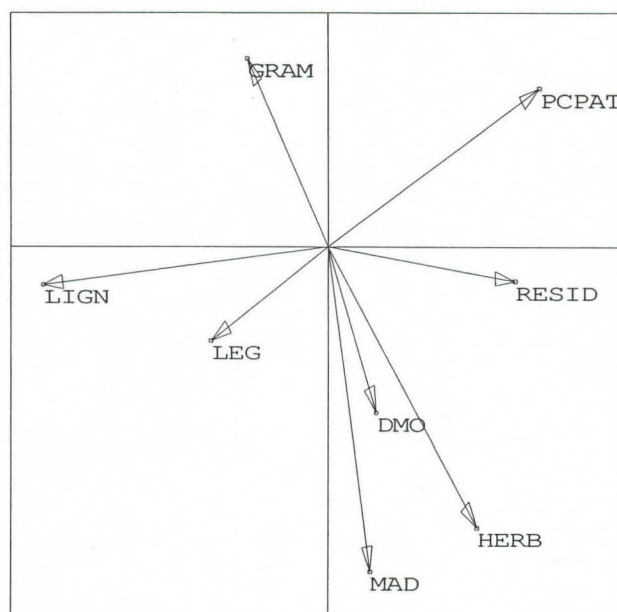


**Figure 14.** Plan factoriel 1-2 des circuits de l'ACPVI. Représentation de la distribution des paramètres alimentaires normalisés (variables à expliquer). Pour un circuit, la taille du cercle est proportionnelle à l'écart positif de la valeur de la variable avec la moyenne et La taille du carré est proportionnelle à l'écart négatif de la valeur de la variable avec la moyenne.

Au vu des figures 12.b et 12.c, on peut dire que le premier facteur recense l'opposition entre les faciès de cultures (RIZH et CLT) et les faciès forestiers. Le second facteur canonique ne voit que le faciès B23 (strate ligneuse basse de densité moyenne) l'approcher. Les figures 12.d et 12.e permettent de tempérer les relations linéaires entre faciès et scores canoniques en montrant les nuages de points associés. On voit ainsi qu'en haut du facteur 2, on trouvera les parcours avec une représentation nulle du faciès B23. En bas au contraire, on trouvera des parcours enregistrant des temps moyens à forts sur ce faciès (le nuage de points est composé de 2 sous-nuages le long de la droite de régression).

Ce que l'on peut retenir,

- (i) L'association entre les régimes alimentaires à base de résidus de récolte et les strates de cultures (CLT et RIZH).
- (ii) Même si elle reste globalement faiblement expliquée par les faciès (12.29 %, tableau 14), les régimes à fortes teneurs en plantes herbacées semblent pour une partie au moins être caractéristique d'une fréquentation accrue des strates ligneuses basses de moyenne densité (B23).
- (iii) Même chose pour la qualité azotée des régimes (MAD) qui semble se rapprocher de la teneur en herbacée et donc du faciès B23. Attention, cependant à la qualité de la reconstitution de MAD par les faciès qui est faible (6.94 %, tableau 14) et qui ne permet pas d'affirmer clairement que la fréquentation du faciès B23 serait associée à des régimes alimentaires plus riches en azote. De ce point de vue, la figure 13, montre, mis à part pour les variables teneur résidus de cultures (RESID) et teneur en ligneux (LIGN), **qu'il n'y pas de différenciation marquée** des circuits selon les autres paramètres qualifiant les régimes le long des axes de végétation synthétiques.



**Figure 15.** Corrélations entre les paramètres alimentaires (variables initiales) avec les combinaisons linéaires de ces mêmes variables calculées par l'ACPVI (les axes canoniques).

En contrôlant la cohérence des corrélations entre variables à expliquer initiales et les axes canoniques (figure 14) avec les scores des variables sur ces mêmes axes canoniques (figure 12.b), on peut détecter la présence d'instabilité numérique des scores des variables à expliquer (Chessel, 1995). Instabilité numérique qui peut être liée à un nombre trop important et/ou de fortes corrélations entre variables explicatives (les faciès) constituant le plan de projection, ou encore, à un rapport nombre d'individus – nombre de variables trop défavorables pour les premiers. Dans le cas présent les deux graphiques coïncident, les coefficients canoniques calculées sont fiables.

### 2.2.3. Analyse de co-inertie intra saison.

Une seconde approche a été adoptée pour analyser les relations entre les paramètres alimentaires et les faciès de végétation fréquentés. Elle consiste en la recherche de la concordance entre les deux tableaux par leur analyse simultanée à l'aide de la co-inertie ou co-structure (Chessel & Mercier, 1993; Dolédec & Chessel, 1994, 1997). L'objectif est de dégager les facteurs  $t_i$  et  $u_i$  de covariance maximum à partir de ceux issus des deux ordinations séparées (résultats des ACP). Ce critère a l'avantage de maximiser dans le même temps la corrélation et l'inertie projetée sur ces facteurs. Cette double optimisation se résume par :

$$\text{cov}(t_i, u_i) = r(t_i, u_i) \cdot \sqrt{\text{var}(t_i) \cdot \text{var}(u_i)}$$

On obtient un seul système d'axes dits de co-inertie sur lesquels on peut visualiser les relations entre les variables des deux tableaux (figure 15) et les proximités entre les parcours vus sous deux angles différents (*i.e.* deux tableaux différents) (figure 18). Les images obtenues correspondent à la concordance des axes factoriels ou structures résultats des analyses séparées des deux tableaux et elles s'interprètent comme une ACP classique.

L'avantage de l'analyse de co-inertie par rapport à une étude qui mélangerait les deux groupes de variables, tient au fait que l'on focalise davantage sur les relations inter-tableaux. Ces relations pouvant être « masquées » par des corrélations fortes entre variables d'un même tableau.

Les écologues ont été parmi les premiers à utiliser la co-inertie pour analyser les relations entre la présence ou l'absence d'espèces faunistiques ou floristiques et l'environnement (Dolédec & Chessel, 1994). Les types de données et les stratégies d'analyses considérés en écologie à l'aide de cette méthode sont comparables et transposables dans un cadre zootechnique ou épidémiologique, respectivement pour l'étude de la liaison *ressources – performances zootechniques et pratiques d'élevage – pathologies animales*.

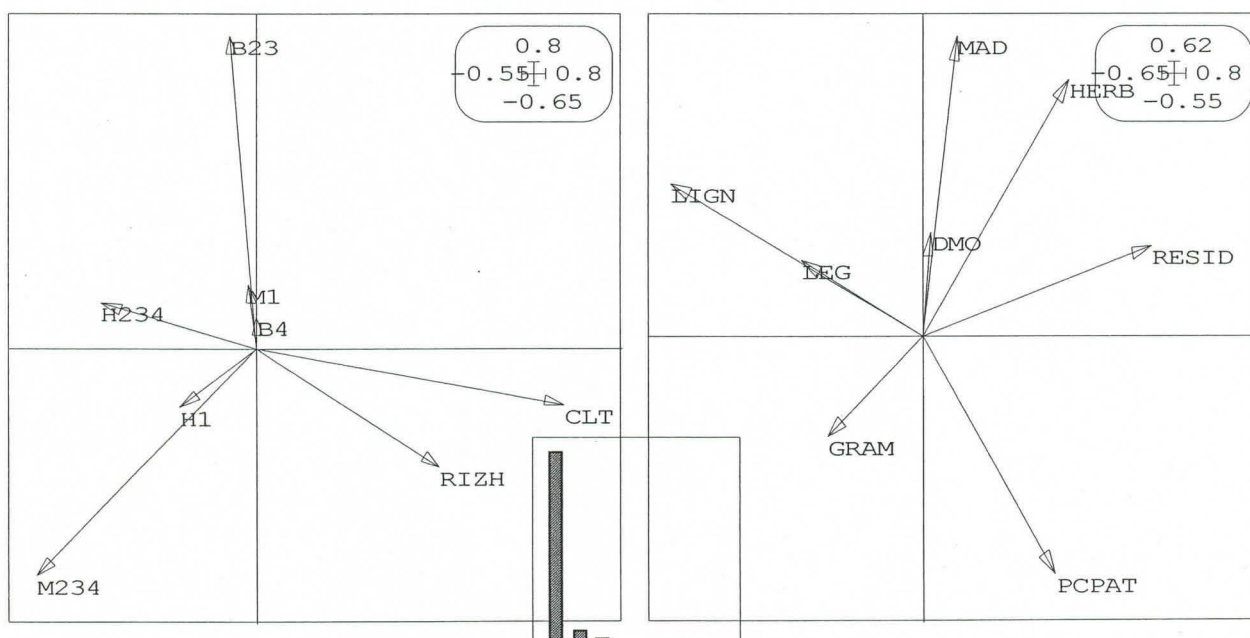


Les analyses précédentes ont montré l'importance et la gêne occasionnée par l'effet saison pour décrire le lien entre faciès fréquentés et paramètres alimentaires. Nous avons procédé à l'élimination de la variabilité saisonnière (par centrage des variables par groupes de lignes) avant de soumettre les tableaux à l'analyse de co-inertie qui s'adapte bien à différents types de transformations des tableaux (Franquet *et al.*, 1995).

**Tableau 15.** Qualité des projections des deux tableaux sur les axes de co-inertie et mesure de la co-structure par axe (corrélation entre les coordonnées factorielles des deux analyses séparées).

Facteurs de co-inertie	Covariance des 2 tableaux = inertie des facteurs	Qualité de la projection du tableau Alimentation en %	Qualité de la projection du tableau Faciès en %	Corrélation entre les axes des 2 analyses = qualité de l'optimisation de la variance et de la covariance
Facteur 1	0.11	75	97	0.58
Facteur 2	0.03	86	47	0.40

Un test de permutations de la significativité de l'appariement des deux jeux de paramètres ( $p < 0.001$ ) a permis de confirmer l'existence d'un lien entre les deux tableaux. Le principe du test pour l'analyse de la co-inertie est le suivant : on recalcule la mesure de co-structure entre tableaux après  $n$ ,  $n$  suffisamment grand, permutations aléatoires de leurs lignes. On compare le nombre de valeurs simulées plus grandes que celle observée afin de conclure à l'éventuel rejet de l'hypothèse d'existence d'une co-structure (Cadet *et al.*, 1994).



**Figure 16.** Plan 1-2 des faciès (à gauche) et des paramètres alimentaires (à droite) sur les axes de co-inertie. Ce plan factoriel de co-inertie est commun aux deux groupes de variables. Diagramme des valeurs propres (en bas).

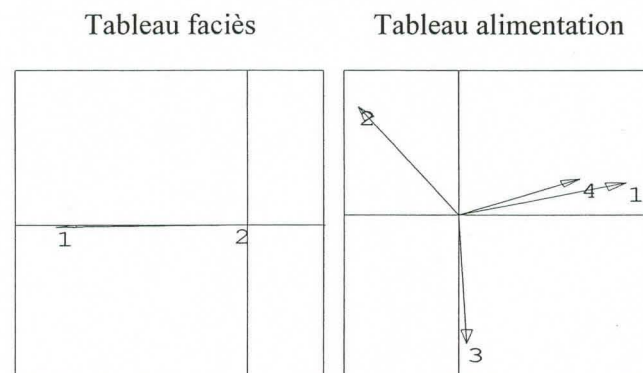
**Tableau 16.** Contributions des variables (en %) des deux tableaux aux facteurs 1 et 2 de co-inertie.

Faciès	Faciès		Alimentation	Alimentation	
	facteur1	facteur 2		facteur 1	facteur 2
CLT	<b>45.49</b>	1.70	GRAM	5.06	3.79
B4	0	0.58	LEG	8.05	2.08
B23	0.36	<b>55.57</b>	LIGN	<b>35.14</b>	8.49
M1	0.03	2.37	RESID	<b>29.26</b>	2.92
M234	<b>23.64</b>	<b>28.87</b>	HERB	<b>12.00</b>	<b>24.25</b>
H1	2.83	1.88	PCPAT	9.76	<b>21.25</b>
H234	<b>11.67</b>	1.18	MAD	0.67	<b>33.20</b>
RIZH	<b>15.96</b>	7.82	DMO	0.03	3.98



Les qualités de projections sont globalement bonnes sauf pour le tableau faciès sur l'axe 2 de co-inertie (47 %, tableau 15). On veillera donc à interpréter avec circonspection les proximités des variables des deux tableaux sur cet axe.

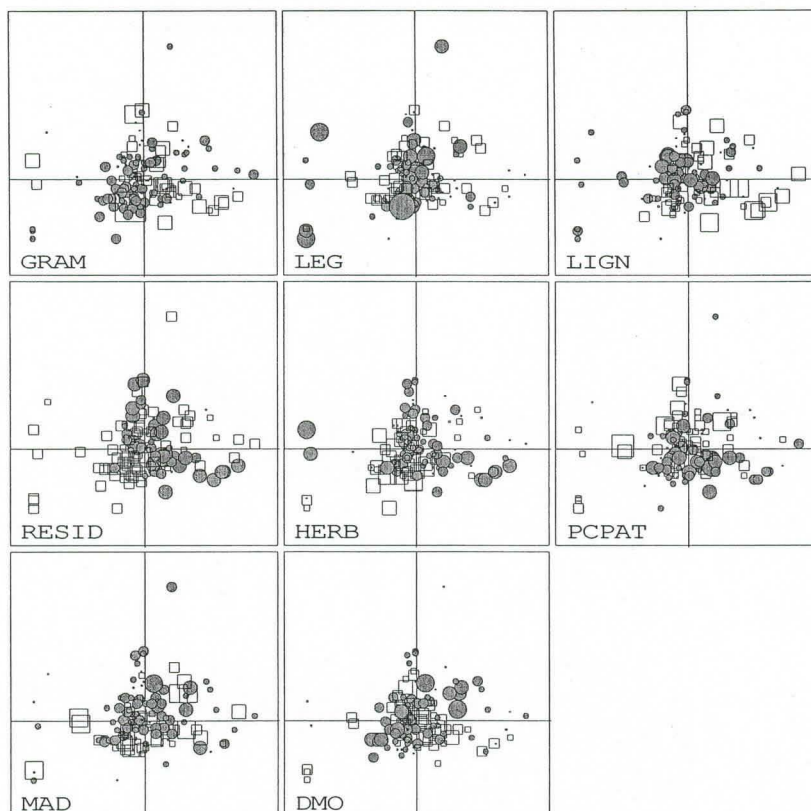
- (i) Le premier facteur oppose les strates de cultures (CLT et RIZH), associées aux régimes à teneur en résidus (RESID) importante, aux strates ligneuses moyennes de recouvrement moyen à très dense (M234) eux-mêmes liées aux régimes à base de ligneux.
- (ii) Sur le second facteur de co-inertie, on peut observer d'une part, que les régimes à teneur azotée plus importante sont plutôt ceux à base de plantes herbacées (HERB). Et d'autre part, qu'ils correspondent à des circuits à faible activité alimentaire (% moyen d'animaux pâurant pendant le circuit – PCPAT – est anticorrélé à MAD et HERB). Une liaison de ces régimes avec le faciès B23 (strates ligneuses basse de densité moyenne) semblent se dégager mais il faut la tempérer au vu de la qualité de projection du tableau faciès sur l'axe 2 (47 %, tableau 15).



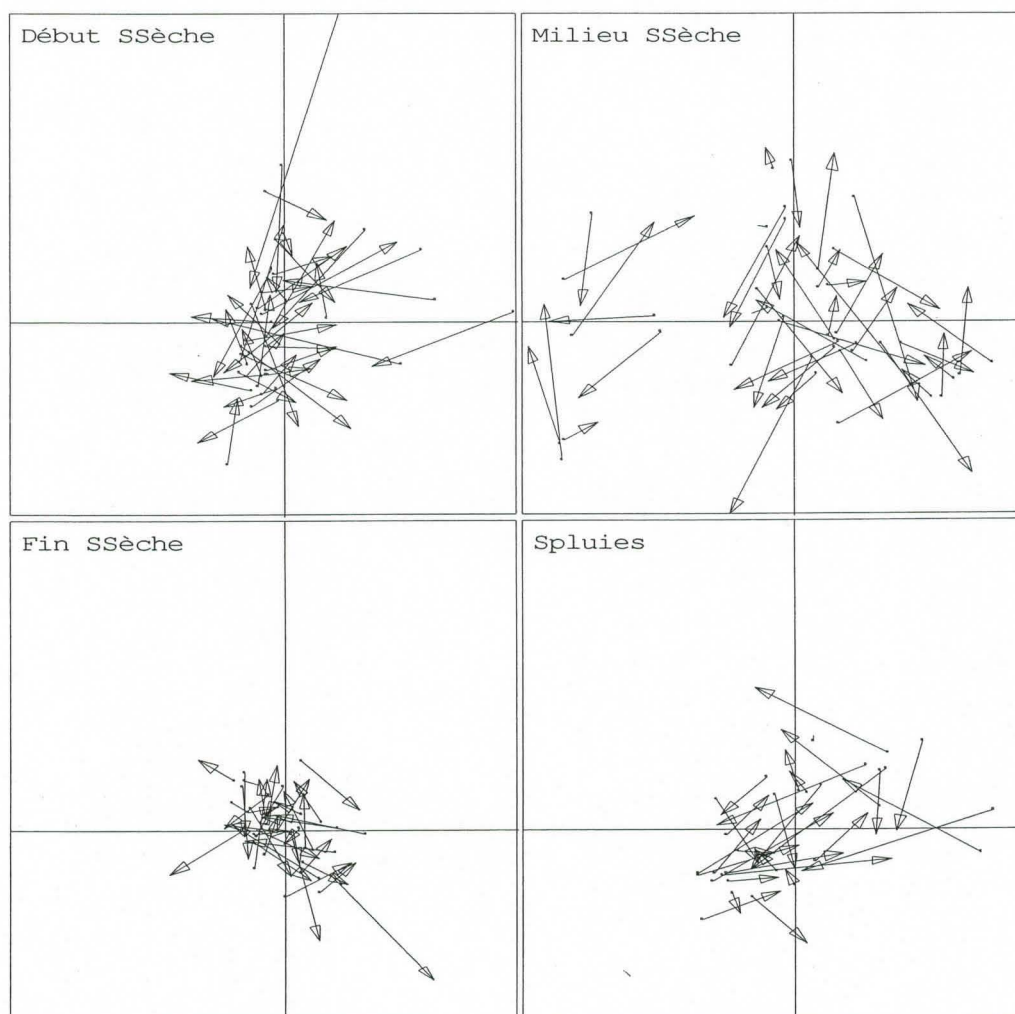
**Figure 17.** Projection des axes d'inertie des analyses intra-saison séparées du tableau faciès (à gauche) et du tableau Alimentation (à droite) sur les axes de co-inertie 1 (horizontal) et 2 (vertical).

On peut visualiser les relations entre les résultats des analyses séparées des deux tableaux et ceux de la co-inertie. On calcule pour cela les corrélations entre les axes d'inertie intra-saison et les axes de co-inertie que l'on représente sur la figure 16. On peut ainsi juger des liens entre structures séparées et co-structure.

- L'axe 1 d'inertie intra-saison des faciès regroupés était celui de l'opposition entre faciès de culture (côté négatif) et faciès ligneux forestiers (côté positif). Les faciès forestiers se projettent donc à gauche de l'axe 1 de co-inertie. Par contre l'axe 2 d'inertie intra-saison (différenciation de la fréquentation des strates ligneuses hautes –H234- et moyennes –M234-) n'est relié à aucun des axes de co-inertie.
- L'axe 1 de co-inertie des paramètres alimentaires est relié à l'axe 1 (ébauche d'une liaison linéaire entre PCPAT et MAD) et l'axe 4 d'inertie intra-saison (gradient de teneur en plantes herbacées).



**Figure 18.** Représentation des circuits sur le plan factoriel 1-2. Représentation de la distribution des paramètres alimentaires normalisés. La taille du cercle est proportionnelle à l'écart positif de la valeur de la variable avec la moyenne. La taille du carré est proportionnelle à l'écart négatif de la valeur de la variable avec la moyenne.



**Figure 19.** Représentation des circuits « vus » selon les 2 tableaux sur les axes de co-inertie 1 et 2.

Sur la figure 18, l'origine de la flèche représente le circuit vu selon les faciès et la flèche, le même circuit du point de vue des paramètres alimentaires. On peut ainsi évaluer la distorsion entre les deux points de vue.

Globalement, l'appariement vu selon les circuits est moyen (voir également les corrélations entre groupes de variables par facteur de co-inertie, respectivement 0.58 et 0.40, tableau 15). On observe la relative homogénéité des parcours en fin de saison sèche. Ce qui laisse supposer une meilleure concomitance entre la fréquentation des faciès et les mesures alimentaires pour cette saison.

En milieu de saison sèche, on note la présence d'un groupe de circuits à gauche de l'axe 1 de co-inertie. Ils correspondent aux derniers parcours effectués en forêt.



### 3. Recherche d'indicateurs de performances zootechniques.

Les relations entre les mesures de performances zootechniques LAIT, DMO, MAD et des paramètres comportementaux caractérisant le régime au travers du circuit du point de vue qualitatif (composition botanique des régimes) et quantitatif (PCPAT, SURF, DIST) ont été analysées. Ceci a permis de juger de l'intérêt des paramètres comportementaux comme indicateurs de performances.

#### 3.1. Analyse du jeu complet de variables.

Une première approche a consisté à faire la synthèse des relations de l'ensemble des variables. Une ACP normée a permis de faire un premier bilan des redondances entre les paramètres préalablement transformés en log.

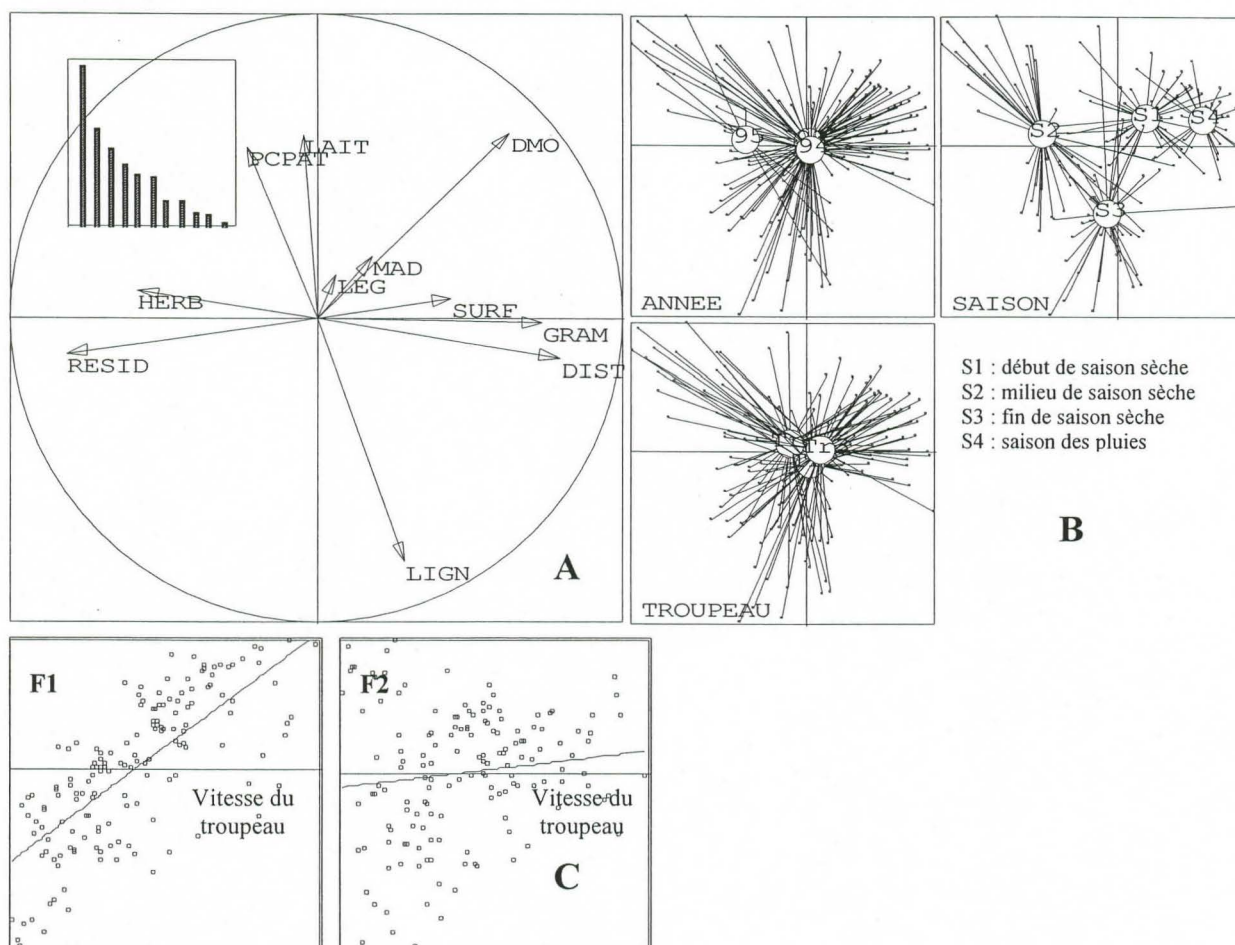
**Tableau 17.** Matrice de corrélations de l'ensemble des indicateurs.

	LAIT	MAD	DMO	GRAM	LEG	LIGN	RESID	HERB	PCPAT	DIST	SURF
LAIT	1										
MAD	-0.031	1									
DMO	0.246	0.359	1								
GRAM	-0.168	0.057	0.360	1							
LEG	0.151	0.058	0.025	-0.179	1						
LIGN	<b>-0.349</b>	0.045	-0.281	0.143	-0.007	1					
RESID	-0.017	-0.011	<b>-0.524</b>	<b>-0.653</b>	-0.199	-0.151	1				
HERB	0.118	0.057	-0.221	-0.394	-0.029	-0.181	0.262	1			
PCPAT	0.041	0.007	0.073	-0.011	-0.022	<b>-0.406</b>	0.066	0.03	1		
DIST	0.055	0.153	<b>0.405</b>	0.388	0.115	0.311	<b>-0.600</b>	-0.274	<b>-0.429</b>	1	
SURF	-0.008	-0.065	0.264	0.152	-0.094	0.067	-0.125	<b>-0.477</b>	0.074	0.261	1

On n'observe pas de corrélations spectaculaires entre les paramètres (tableau 17), l'ACP normée fournit un graphique synthétique de ces valeurs (figure 19). Seuls les 2 premiers facteurs peuvent être sujets à interprétation.

**Tableau 18.** Contributions et qualité de représentation des paramètres aux axes de l'ACP normée (en %).

	Contributions		Qualité de représentation	
	facteur 1	facteur 2	facteur 1	facteur 2
LAIT	0.07	<b>19.97</b>	0.21	<b>35.87</b>
MAD	1.15	2.17	3.36	3.91
DMO	<b>13.63</b>	<b>20.79</b>	<b>39.85</b>	<b>37.34</b>
GRAM	<b>18.38</b>	0.02	<b>53.75</b>	0.03
LEG	0.13	1.14	0.38	2.05
LIGN	2.76	<b>35.83</b>	8.07	<b>64.37</b>
RESID	<b>22.56</b>	0.78	<b>65.96</b>	1.41
HERB	11.52	4.5	33.68	0.81
PCPAT	1.79	<b>17.58</b>	5.26	<b>31.58</b>
DIST	<b>21.36</b>	0.99	<b>62.46</b>	1.78
SURF	6.62	0.23	19.38	0.42



**Figure 20.**

- A. Plan factoriel 1-2 de l'ACP normée de l'ensemble des paramètres et diagramme des valeurs propres.
- B. Représentation des circuits sur le plan factoriel 1-2 selon les facteurs Année, Saison et Troupeau. Représentation des parcours moyens par niveau de facteur et connexion des parcours d'un même niveau avec un segment (diagramme en étoiles).
- C. Relation entre la vitesse moyenne du troupeau (en abscisse) et l'information synthétisée sur les facteurs 1 (à gauche) et 2 (à droite).

Un fort effet saison caractérise les relations entre paramètres et la différenciation entre parcours (figure 19.b) :

- (i) Opposition sur F1 entre les régimes à base de graminées (GRAM) et ceux à base de résidus de récolte (RESID). On note également que les distances parcourues sont plus importantes sur les parcours graminéens en début de saison sèche (S1) et surtout en saison des pluies (S4).
- (ii) Opposition entre la qualité énergétique (DMO) et la teneur en ligneux (LIGN) des régimes. On voit apparaître une relation entre la production laitière (LAIT) et la pression du troupeau sur le pâturage (PCPAT).

On a gardé la variable vitesse du troupeau en supposant qu'elle pouvait avoir un effet sur certains paramètres de performances. En effet, elle est très corrélée à la distance parcourue et est caractéristique des régimes graminéens (figure 12.c).

### 3.2. Analyse inter-saison des redondances entre paramètres.

La saison joue un rôle très important sur le type de parcours et donc sur les caractéristiques du régime des animaux. Une ACP inter-saison permet de préciser ou d'affiner l'analyse des différences entre parcours selon la saison.

L'ACP inter-saison fait partie des méthodes d'analyses sur variables instrumentales. Dans le cas présent, la variable instrumentale se réduit à un seul facteur : la saison. L'analyse se base sur la décomposition de l'inertie totale en une inertie inter-niveau et une inertie intra-niveau du facteur étudié. On cherche alors des facteurs, combinaisons des variables initiales qui synthétisent au mieux les différences entre les classes de la variable instrumentale. L'analyse s'effectue sur le tableau des moyennes par niveau de facteur et s'interprète comme pour une ACP classique (Dolédec *et al.*, 1987).

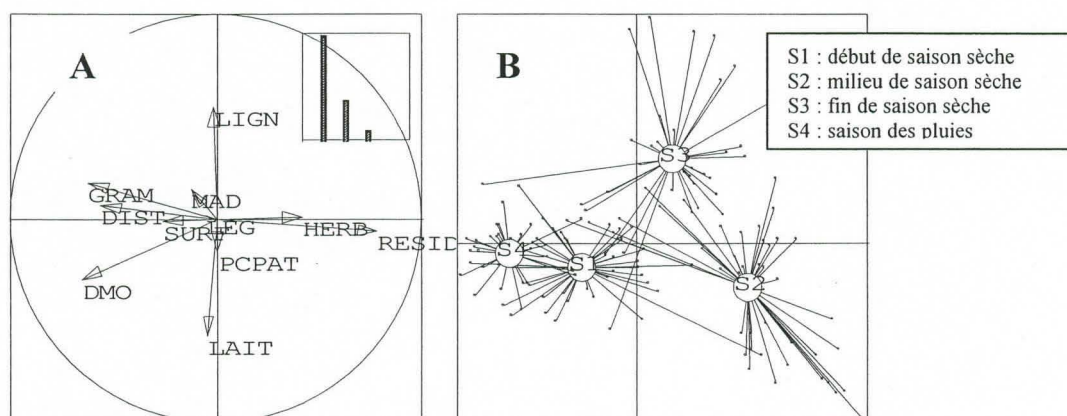


Figure 21.

- Plan factoriel 1-2 de l'ACP inter-saison de l'ensemble des paramètres et diagramme des valeurs propres.
- Représentation des parcours saisonniers moyens sur le plan factoriel 1-2 et projection en supplémentaire des parcours. Connexion des parcours d'une même saison avec un segment (diagramme en étoiles).

Tableau 19. Contributions et qualité de représentation des paramètres aux axes de l'ACP inter-saison (en %).

	Contributions		Qualité de la représentation	
	F1	F2	F3	F2
LAIT	0.10	<b>41.53</b>	0.63	<b>99.24</b>
MAD	0.80	2.51	25.38	31.46
DMO	<b>21.25</b>	10.92	<b>82.39</b>	16.90
GRAM	<b>19.18</b>	3.89	<b>90.77</b>	7.34
LEG	0.14	4	11.92	1.40
LIGN	0.01	<b>36.85</b>	0.09	<b>98.22</b>
RESID	<b>30.70</b>	0.56	<b>91.03</b>	0.67
HERB	8.64	0	<b>85.20</b>	0.02
PCPAT	0	3.15	0.26	<b>98.40</b>
DIST	<b>15.74</b>	0.46	<b>97.27</b>	1.15
SURF	3.40	0.02	46.08	0.15



D'après la figure 20,

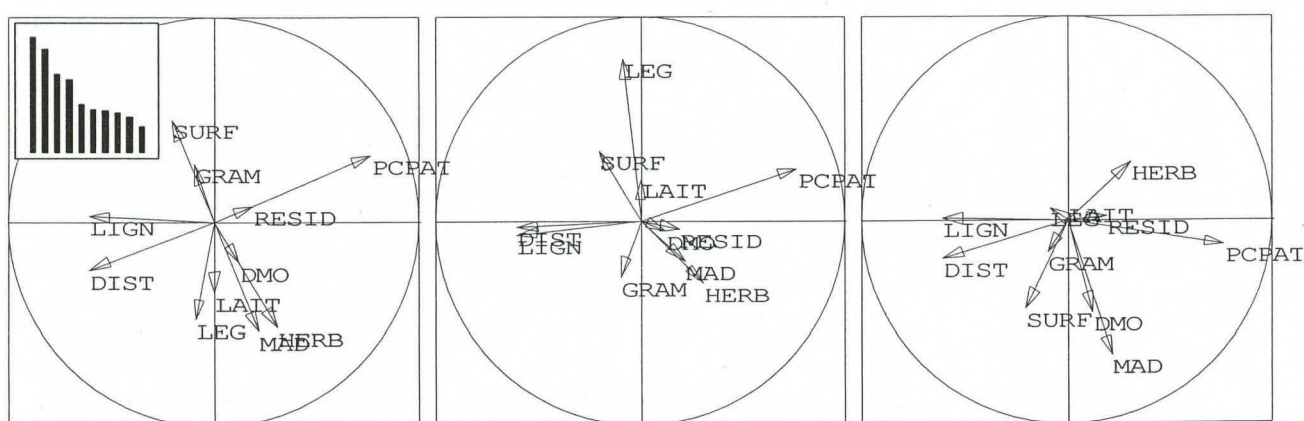
- (i) Le facteur 1 d'inertie inter différencie les saisons humides (à gauche) des saisons sèches (à droite). On retrouve une grande partie de l'information contenue dans l'ACP simple et notamment la relation DMO-GRAM qui se précise ici (voir 3.1 *Analyse du jeu complet de variables*).
- (ii) Le facteur 2 isole la fin de saison sèche (S3) pour la teneur plus importante en ligneux, paramètre qui est corrélé négativement avec la production laitière. On note au passage, les niveaux de production laitière quasi identique entre les trois autres saisons (S1, S2 et S4 se trouvent alignés le long du facteur 2). Cette observation conforte l'idée que seul la teneur en ligneux est reliée à une mauvaise performance laitière notamment en saison 3 et qu'aucun autre paramètres n'intervient dans les différences saisonnières de quantité de lait produite.

### 3.3. Analyse intra-saison des redondances entre paramètres.

Les paramètres sont sujets à des variations qui dépendent en grande partie de la saison. Nous avons procédé à une ACP intra-saison qui a éliminé la part d'inertie directement imputable à la saison et nous a permis d'étudier les relations résiduelles entre paramètres.

**Tableau 20.** Matrice de corrélations intra-saison des paramètres.

	LAIT	MAD	DMO	GRAM	LEG	LIGN	RESID	HERB	PCPAT	DIST	SURF
LAIT	1	0.05	0.08	-0.15	0.20	-0.06	-0.05	0.20	-0.06	0.09	-0.05
MAD	0.05	1	0.46	-0.04	0.08	-0.06	0.11	0.16	0.03	0.08	-0.16
DMO	0.08	<b>0.46</b>	1	0.03	0.01	-0.23	-0.12	0.10	0.05	0.09	0.11
GRAM	-0.15	-0.04	0.03	1	-0.30	0.07	-0.31	-0.23	0.03	0.06	0.03
LEG	0.20	0.08	0.01	-0.30	1	-0.01	-0.22	-0.04	-0.02	0.12	-0.07
LIGN	-0.06	-0.06	-0.23	0.07	-0.01	1	-0.25	-0.22	-0.39	0.38	0.07
RESID	-0.05	0.11	-0.12	<b>-0.31</b>	-0.22	-0.25	1	-0.04	0.09	-0.37	0.02
HERB	0.20	0.16	0.10	-0.23	-0.04	-0.22	-0.04	1	0.00	-0.04	-0.39
PCPAT	-0.06	0.03	0.05	0.03	-0.02	<b>-0.39</b>	0.09	0.00	1	-0.51	0.09
DIST	0.09	0.08	0.09	0.06	0.12	0.38	-0.37	-0.04	-0.51	1	0.13
SURF	-0.05	-0.16	0.11	0.03	-0.07	0.07	0.02	<b>-0.39</b>	0.09	0.13	1



**Figure 22.** Plan factoriel 1-2 (à droite), 1-3 (au centre) et 1-4 (à gauche) de l'ACP intra-saison de l'ensemble des paramètres. Diagramme des valeurs propres (en haut, à gauche)

**Tableau 21.** Contributions et qualité de représentation des paramètres de performances de l'ACP intra-saison (en %).

	Contributions				Qualité de représentation			
	Fac 1	Fac 2	Fac 3	Fac 4	Fac 1	Fac 2	Fac 3	Fac 4
LAIT	0	8.28	3.66	0.58	0	17.67	5.82	0.87
MAD	3.02	<b>20.28</b>	3.75	<b>44.40</b>	5.01	<b>30.78</b>	4.25	<b>47.40</b>
DMO	1.01	2.73	0.23	20.52	3.26	8.03	0.51	<b>42.33</b>
GRAM	0.60	5.37	7.17	2.51	1.63	13.22	13.14	4.35
LEG	0.45	<b>16.23</b>	<b>58.76</b>	0.30	0.72	<b>23.63</b>	<b>63.72</b>	0.30
LIGN	<b>23.34</b>	0.04	0.51	0	<b>51.81</b>	0.08	0.77	0
RESID	2.38	0.37	0.21	0.01	11.38	1.62	0.69	0.05
HERB	5.97	<b>18.48</b>	8.73	7.87	11.65	<b>32.95</b>	11.60	9.87
PCPAT	<b>37.53</b>	7.14	6.04	1.52	<b>59.90</b>	10.42	6.56	1.56
DIST	<b>23.07</b>	3.94	0.10	3.52	<b>53.04</b>	8.29	0.16	5.20
SURF	2.59	<b>17.07</b>	10.78	18.73	4.72	<b>28.46</b>	13.39	21.96

La structure de l'inertie intra-saison mise en évidence est très faible (diagramme des valeurs propres en « escalier », figure 21). Les corrélations linéaires entre les variables ne dépassent guère 0.30 (le maximum est de 0.46 entre DMO et MAD, tableau 20).

- (i) Les fortes pressions du troupeau sur la végétation (PCPAT) sont moindres (corrélation négative) sur les ligneux et lorsque les distances parcourues sont plus importantes.
- (ii) Le second facteur est difficile à interpréter, tant les corrélations mises en évidence sont faibles.
- (iii) La teneur en légumineuse (sur le facteur 3) semble décorrélée avec le reste des mesures de performances.
- (iv) La qualité des régimes (MAD et DMO) ne semble se relier avec aucun autre paramètre. On note l'indépendance avec les variables (PCPAT, LIGN et DIST) qui qualifient le premier axe. Le lien évident entre la qualité et la quantité d'aliments ingérée est surtout marquée par les saisons mais intra-saison, ce lien n'est pas évident.

Les liaisons deviennent très faibles lorsque l'on ne tient plus compte de la saison. Il est difficile d'établir des relations nettes entre les deux jeux de paramètres. **Tout laisse penser que les paramètres comportementaux ne permettent pas d'approximer correctement les mesures de qualité des régimes.**

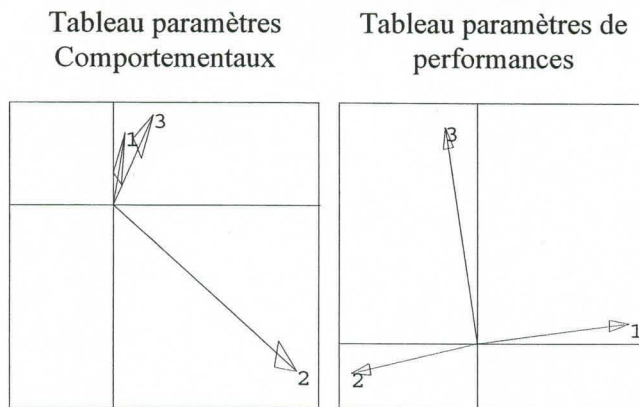
### 3.4. Analyse de co-inertie intra-saison des deux jeux de paramètres.

Le mélange des variables constituait une première approche. Une analyse de co-inertie sur les deux groupes de variables débarrassées de leur influence saisonnière a permis de focaliser explicitement sur les relations inter-tableaux.

**Tableau 22.** Qualité des projections des deux tableaux sur les axes de co-inertie et mesure de la co-structure.

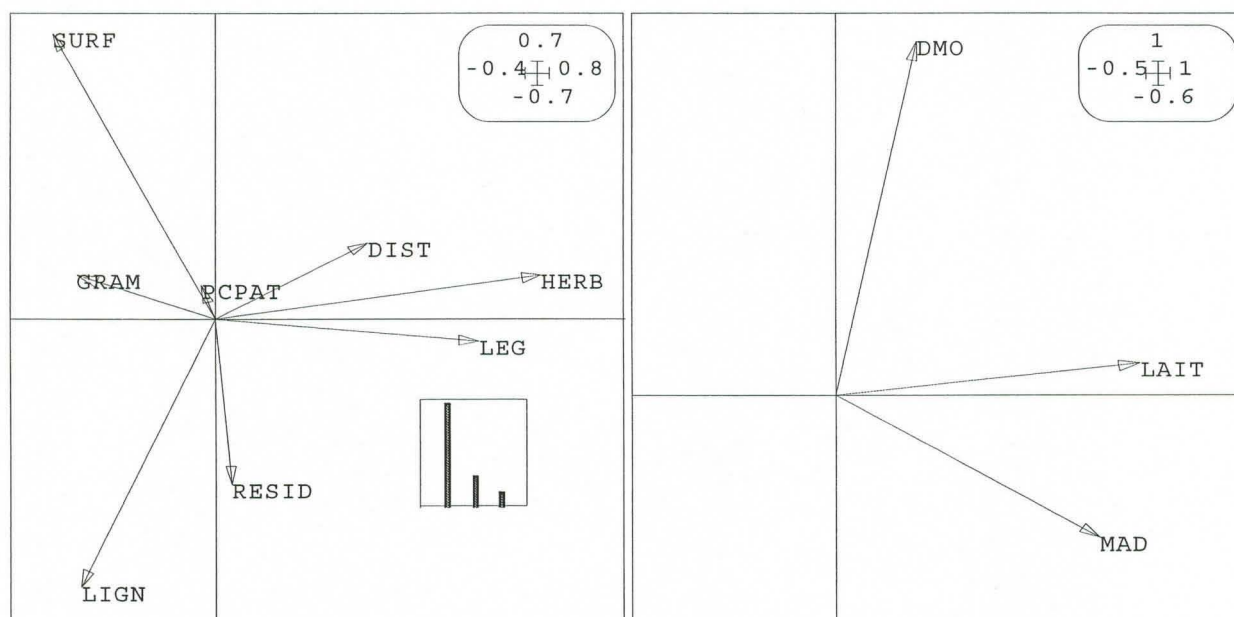
Facteurs de co-inertie	Covariance des 2 tableaux = inertie des facteurs	Qualité de la projection du tableau Performances (en %)	Qualité de la projection du tableau Paramètres alimentaires (en %)	Corrélation entre les axes des 2 analyses = qualité de l'optimisation de la variance et de la covariance
Facteur 1	0.32	0.82	0.71	0.58
Facteur 2	0.18	0.51	0.49	0.39

Le test de Monte Carlo de l'existence d'une co-structure entre les 2 tableaux est tout juste significatif ( $p < 0.05$ ). La qualité de projection des deux groupes de variables est moyenne sur le second axe de co-inertie, seul le premier peut être interprété (tableau 21).



**Figure 23.** Projection des axes d'inertie des analyses intra-saison du tableau paramètres comportementaux (à gauche) et du tableau performances (à droite) sur les axes de co-inertie 1 (horizontal) et 2 (vertical).

L'axe 1 de co-inertie est relié aux deux premiers axes des ACP intra-saison du tableau performances (figure 22). Le facteur 1 était un gradient de niveau de qualité azotée des régimes et le second facteur correspondait au niveau de production laitière journalière (coté négatif). Le premier facteur de co-inertie synthétise la covariation positive entre ces deux paramètres de performances. En ce qui concerne les facteurs de l'ACP intra-saison des paramètres comportementaux, seul le second facteur (teneur en plantes herbacées) est proche des deux facteurs de co-inertie.



**Figure 24.** Plan 1-2 des paramètres comportementaux (à gauche) et des paramètres de performances (à droite) sur les axes de co-inertie.



**Tableau 23.** Contributions des paramètres aux facteurs de l'analyse de co-inertie.

	Contributions	
	F1	F2
LAIT	<b>54.60</b>	0.63
MAD	<b>41.50</b>	14.01
DMO	3.89	<b>85.34</b>
GRAM	7.09	0.94
LEG	<b>26.46</b>	0.29
LIGN	6.80	<b>37.72</b>
RESID	0.10	14.27
HERB	<b>40.59</b>	0.93
PCPAT	0.06	0.55
DIST	8.84	3.03
SURF	10.01	<b>42.23</b>

Alors que l'ACP intra-saison sur l'ensemble des paramètres ne laissait qu'entrevoir des ébauches de relations linéaires entre certaines variables des 2 tableaux, l'analyse de co-inertie permet de faire les observations suivantes (figure 23) :

- (i) L'existence d'une relation entre mesures de performances LAIT et MAD avec la teneur en herbacée (HERB) des régimes et dans une moindre mesure avec la teneur en légumineuses (LEG).
- (ii) La qualité énergétique des régimes (DMO) ne semble pas liée à la production laitière, ni à la qualité azotée des régimes (MAD). Observation nuancée du fait de la qualité modeste de la projection des deux groupes de variables sur l'axe 2 de co-inertie (voir tableau 22).
- (iii) La teneur en graminée (GRAM) ne semble pas être un indicateur pertinent des performances alimentaires et laitières.
- (iv) La relation entre surface occupée (SURF) et la qualité énergétique des régimes (DMO).

et un résultat obtenu lors de l'ACP intra-saison de tous les paramètres est confirmé :

- (i) L'indépendance entre les mesures de pression du troupeau sur le pâturage (PCPAT) et de teneur en ligneux (LIGN) des régimes avec les paramètres de qualité de régimes (MAD, DMO).

#### **Bilan méthodologique :**

L'analyse de co-inertie s'avère plus efficace pour étudier les relations entre groupes de variables qu'un simple mélange des variables, particulièrement en présence de corrélations fortes entre variables d'un même tableau. Seuls les paramètres de teneur en plantes herbacées (HERB) et dans une moindre mesure, la teneur en légumineuses (LEG) se rapprochent des bons résultats de production laitière. Les autres paramètres comportementaux restent indépendants.

Une analyse intéressante serait la mise en relation des faciès de végétation avec seulement les paramètres les plus liés à la performance laitière : MAD, HERB, LEG.

## Conclusion

L'objectif principal de ce travail était de montrer l'intérêt des méthodes d'analyses multivariées et en particulier les méthodes de couplages de tableaux pour l'étude des relations entre les modes de conduites au pâturage des troupeaux bovins et leurs performances zootechniques.

Nous avons été confrontés à la difficulté de s'affranchir des effets temporels (influence saisonnière) et spatiaux (parcours forestiers et parcours de cases/cultures). Une analyse globale des circuits est par conséquent problématique puisqu'elle focalisera nécessairement sur la variabilité induite par ces effets exogènes. Un certain nombre de résultats ont pu toutefois être proposés, le même travail réalisé par type de parcours aurait sans doute permis un affichage moins nuancé des résultats. D'autre part, si l'on s'intéresse à l'effet saison ou plus précisément à la variabilité saisonnière ou stabilité temporelle de la co-structure entre fréquentation des circuits et comportement alimentaire ou encore entre performances zootechniques et comportement alimentaire. On pourrait envisager l'étude simultanée des  $k$  couples de tableaux ( $k$  correspondant au nombre de saisons) qui permet de décrire ce qui est au commun aux deux jeux de paramètres au cours du temps (Chessel *et al.*, 1996; Chessel & Hanafi, 1996; Simier *et al.*, 1999) et ainsi mieux cerner l'influence saisonnière dans la relation.

De manière générale, les analyses ont révélé le faible pouvoir instructif de la typologie de fréquentation de la végétation sur la production laitière et sur les paramètres alimentaires. Cette tendance est d'autant plus forte lorsque l'on ne tient pas compte de l'effet saison.

En ce qui concerne la recherche d'indicateurs de performances zootechniques, l'analyse de co-inertie s'est révélée meilleure qu'une simple analyse qui mélangerait toutes les variables dans un même tableau. On a ainsi pu montrer le lien entre production laitière/qualité azotée et teneur du régime en plantes herbacées/légumineuses, et ce quelle que soit la saison considérée.

### *Autres traitements statistiques envisageables :*

Les analyses ont été faites au niveau du troupeau, or on dispose de données à une échelle plus fine : celle du point d'observation. Toutes les 15 minutes en effet, un relevé de fréquentation de la végétation par le troupeau a été effectué. Les hypothèses avancées dans ce travail pourront être éprouvées à une échelle plus précise.



## Bibliographie

Ickowicz A., Usengumuremyi J.C. and Bastien D. and De Choudens N., *Spatial analysis of land use by cattle herds in a village of the sudanese zone in Senegal*. Application for grazing system improvement. proceedings of the XVIII International Grassland Congress, 8-19 june 1997.

Ickowicz A., Usengumuremyi J.C, Richard D., Colleie F. and Dupressoir D., *Interactions entre jachère et systèmes d'alimentation des bovins, choix techniques et dynamique de développement (zone soudanienne, Sénégal)*, Actes de l'Atelier : Jachère et Systèmes Agraires, Niamey 30 septembre - 2 octobre 1998.

Lebart L., Morineau A., Piron M., 1995, *Statistique exploratoire multidimensionnelle*, Dunod, Paris.

Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S., Olivier J.M., 1997, *ADE-4 : a multivariate analysis and graphical display software*. Statistics and Computing, 7, 75-83.

SPSS, 1999. *SPSS Applications Guide 9.0*, SPSS Inc., USA.

### Analyses sous contraintes

Beffy J.L, Doledec S., 1991, *Mise en évidence d'une typologie spatiale dans le cas d'un fort effet temporel : un exemple en hydrobiologie*, Bulletin d'Ecologie, 22 (1), pp.169-178.

Chessel D., 1995, *Ordination sous contrainte*. In : Programmathèque ADE-4, Analyses multivariées et expression graphique des données environnementales, Variables instrumentales, fascicule 4, Institut d'Analyse des Systèmes Biologiques et Socio-Economiques, Université Claude Bernard Lyon 1.

Fraile L., Escoufier Y., Raibaut A., 1993, *Analyse des correspondances de données planifiées : étude de la chémotaxie de la larve infestante d'un parasite*. Biometrics, 49, pp.1142-1153.

Dolédec S., Chessel D., 1987, *Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. I. Description d'un plan d'observation complet par projection de variables*. Acta Oecologica / Oecologica Generalis, Vol. 8, n°3, pp. 403-426.

Dolédec S., Chessel D., 1989, *Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. II. Prise en compte et élimination d'effets dans un tableau faunistique*. Acta Oecologica / Oecologica Generalis, Vol. 10, n°3, pp. 207-232.

Yoccoz N.G., 1988, *Le rôle du modèle euclidien d'analyse des données en biologie évolutive*, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1.

Yoccoz N., Chessel D., 1988, *Ordination sous contraintes de relevés d'avifaune : éliminations d'effets dans un plan d'observations à deux facteurs*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 307, Série III, p. 189-194.

### Co-inertie

Cadet P., Thioulouse J., Albrecht A., 1994, *Relationships between ferrisol properties and structure of plant parasitic nematode communities on sugarcane in Martinique (French West Indies)*. Acta Oecologica : 15, 767-780.

Chessel D, Mercier P., 1993, *Couplage de triplets statistiques et liaisons espèces-environnement*. In : Biométrie et Environnement. Lebreton J.D., Asselain B., Masson, Paris, 15-44.

Chessel D., Thioulouse J., Dolédec S, Olivier J.M., 1997, *Co-inertia*. In : Fiches modules IV, Couplages et Contraintes, Institut d'analyse des systèmes Biologiques et Socio-Economiques, Université Claude Bernard Lyon 1.



Dolédéc S., Chessel D., 1994, *Co-inertia analysis : an alternative method for studying species-environment relationships*. Freshwater Biology : 31, 277-294.

Dolédéc S., Chessel D., 1997, *Co-structure de deux analyses en composantes principales*. In : Programmathèque ADE-4, Analyses multivariées et expression graphique des données environnementales, Couplage et Contraintes, fascicule 5, Institut d'analyse des systèmes Biologiques et Socio-Economiques, Université Claude Bernard Lyon 1.

Franquet E., Dolédéc S., Chessel D., 1995, *Using multivariate analyses for separating spatial and temporal effects within species-environment relationships*, Hydrobiologia 300/301 : 425-431.

Prodon R., Lebreton J.D, 1994, *Analyses multivariées des relations espèces-milieu : structure et interprétation écologique*, Vie Milieu, 44 (1) , 69-91.

#### **Co-inertie et k tableaux**

Chessel D., Simier M., Hanafi M., 1996, *STATICO : STATIS et Co-inertie*. In : Programmathèque ADE-4, Analyses multivariées et expression graphique des données environnementales, Couplage et Contraintes, fascicule 5, Institut d'analyse des systèmes Biologiques et Socio-Economiques, Université Claude Bernard Lyon 1.

Chessel D., Hanafi M., 1996, *Analyses de la co-inertie de k nuages de points*. Revue de Statistiques Appliquées : 44, 35-60.

Simier M., Blanc L., Pellegrin F., Nandris D., 1999, *Approche simultanée de K couples de tableaux : Applications à l'étude des relations pathologie végétale - environnement*. Revue de Statistiques Appliquées : 57 (1), 31-46.